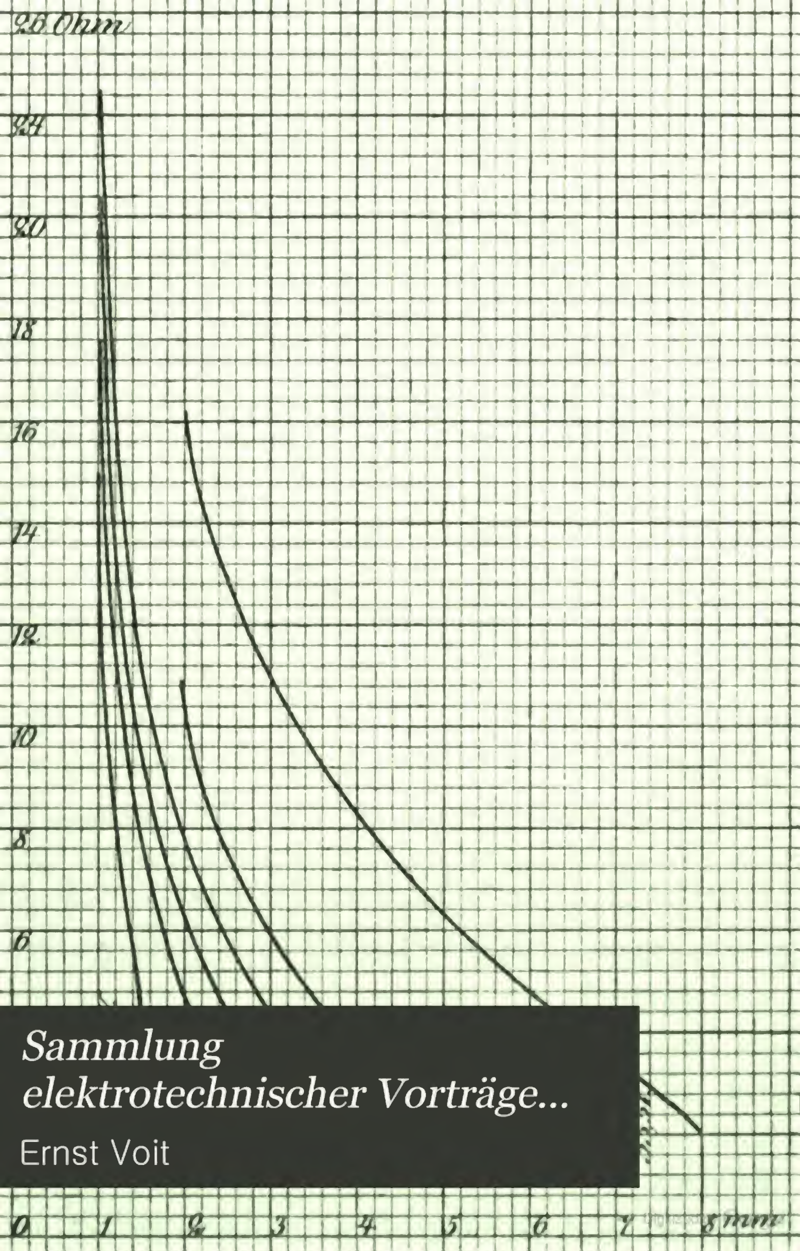
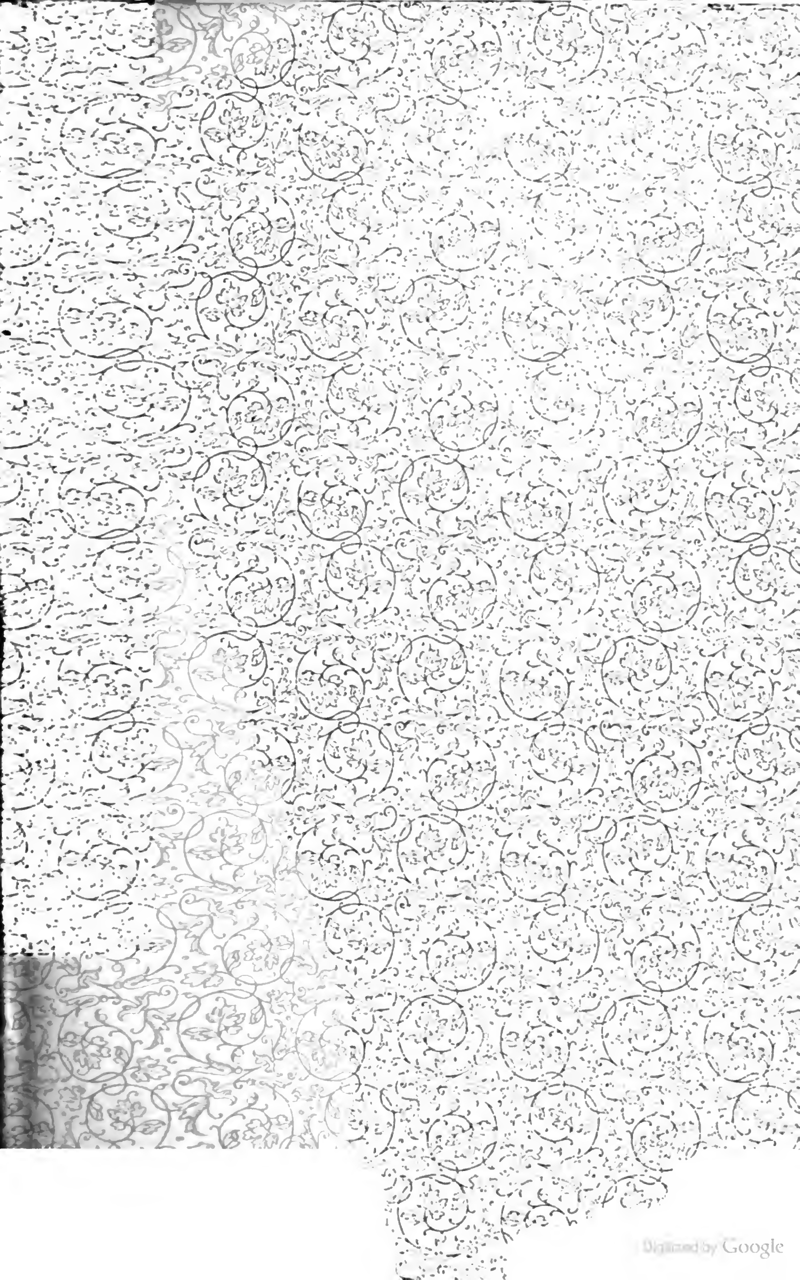


Sammlung elektrotechnischer Vorträge...

Ernst Voit

University of Wisconsin
LIBRARY
Class TN
Book .SA4
1


Digitized by Google



Digitized by Google

SAMMLUNG

Elektrotechnischer Vorträge.

Unter Mitwirkung von

Prof. E. Arnold-Karlsruhe, Direktor Dr. Corsepius-Dresden, Direktor Einbeck-Berlin, Ingenieur C. P. Feldmann-Köln-Ehrenfeld, Prof. Dr. K. Feussner, Mitglied der physikal.-technischen Reichsanstalt, Oberingenieur Görling-Nürnberg, Dr. Heinke-München, Ingenieur G. Hummel-München, Geheimrat Prof. Dr. E. Kittler-Darmstadt, Oberingenieur L. Kohlfürst-Kaplitz, Direktor Nerz-Nürnberg, Ingenieur Dr. Niethammer-Berlin, Prof. Dr. G. Roessler-Berlin, Elektroingenieur Alex Rothert-Nancy, Dr. P. Schoop-Karlsruhe, Ingenieur Ch. P. Steinmetz-Schenectady, Oberingenieur F. Uppenborn-München, Prof. H. F. Weber-Zürich, Prof. Dr. W. Wedding-Berlin

herausgegeben von **Prof. Dr. ERNST VOIT.**

I. BAND.

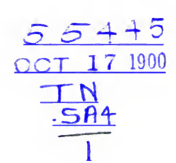
MIT 221 ABBILDUNGEN.

STUTTGART.
VERLAG VON FERDINAND ENKE.
1899.

Digitized by Google

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Digitized by Google


55445
OCT 17 1900
TN
.SA4
1

6968 671

Inhaltsverzeichnis.

Digitized by Google

Der elektrische Lichtbogen.

Von

Professor Dr. Ernst Voit,
München.

Mit 44 Abbildungen.

Im Jahre 1800 hatte Volta[1]) die nach ihm benannte Säule angegeben, und schon in dem gleichen Jahre beobachteten verschiedene Forscher den Funken, der sich bildete, wenn die mit den Polen der Säule verbundenen Leitungsdrähte voneinander entfernt wurden, nachdem sie vorher in Berührung gebracht waren. Nicholson[2]) zeigte, dass dieser Funke je nach dem Stoffe der Leitungsenden — Elektroden — ein verschiedenes Aussehen habe; und Davy[3]) beobachtete im September 1800, dass der Funke besonders hell zwischen zwei Stücken gut gebrannter Kohle erscheine, und dass dazu am zweckmässigsten eine unter Quecksilber rasch abgelöschte Kohle zu verwenden sei. Wie es scheint, wurde das von Davy zuerst beschriebene Kohlenlicht später vielfach in Vorlesungen vorgezeigt und einigen der Experimentatoren die Priorität dieses Versuches zugeschrieben. So ist Quetelet[4]) der Ansicht, dass Curtet das Kohlenlicht zuerst im Jahre 1802 beobachtet habe, und E. Smirnoff[5]) gibt an, dass der russische Professor W. Petroff im Jahre 1802 den Lichtbogen entdeckt habe.

---

[1]) Volta, Phil. Trans. 1800, p. 402; Gilb. Ann. 1800, 6, p. 340.
[2]) Nicholson, Nicholson Journal 1800, 4, p. 179; Gilb. Ann. 1800, 6, p. 358.
[3]) Davy, Nicholson Journal 1800, 4.
[4]) Quetelet, Fortschr. d. Physik 1850 bis 1851, p. 714.
[5]) Smirnoff, The Electrician 1895, Nr. 925.

Digitized by Google

Beobachtungen über die Entladungsfunken von Voltasäulen wurden sehr zahlreich ausgeführt; diejenigen, welche Sylvanus Thompson[1]) neuerdings zusammenstellte, sollen hier kurz Erwähnung finden. Moyes[2]) beschreibt die Funken, die er mit einer Batterie von 60 bis 70 Elementen einer Voltasäule erzeugte. Davy[3]) erhielt Funken unter Flüssigkeiten und zeigte das Kohlenlicht mit einer Batterie von 150 Elementen im Hörsaale der Royal Institution. Ebenso machte Robertson[4]) am 11. März 1801 einen Versuch mit einer Säule von 120 Zinksilberelementen, deren Leitungsenden mit Kohlen verbunden waren. Die Kohlen gaben bei ihrer Berührung einen glänzenden, durch den ganzen Saal sichtbaren Funken. Auch Ritter[5]) soll im Jahre 1802 zu Jena das Kohlenlicht in einem Hörsaale gezeigt haben. Ausführliche Angaben über die Funkenentladung machte John Cuthberson[6]). Ferner hebt Böckmann[7]) das Spritzen der Eisenelektroden hervor, Pfaff[8]) zeigt, dass die Funken auch unter der Glocke einer Luftpumpe sich bilden. Ritter[9]) findet, dass die Elektroden sich ungleich erwärmen, und Simon[10]) gibt Aufschluss über das Spektrum des vom Entladungsfunken ausgesendeten Lichtes.

Die bisher angeführten Beobachtungen waren, soweit es sich nachweisen lässt, meist mit Voltaschen Säulen von geringer Elementenzahl ausgeführt, es war deshalb wohl der Unterschied des rasch verlaufenden Entladungsfunkens zwischen nichtflüchtigen Elektroden und des lange andauernden Lichtbogens zwischen flüchtigen Elektroden, etwa zwischen Kohlenstiften, nicht beobachtet worden, wenigstens ist darüber nicht berichtet. Wahrscheinlich erkannte man nur, wie schon Davy im Jahre 1800, die grössere Helligkeit bei Verwendung von Kohlenelektroden. (Ob Petroff, der mit 4200 Voltazellen gearbeitet haben soll, darauf aufmerksam wurde, ist von Smirnoff nicht angegeben.) Als Humphry Davy[11]) im Jahre 1808 eine Batterie von 2000 Elementen erhalten hatte, gelang es ihm, bei Wiederholung seiner

---

[1]) Sylv. Thompson, Journ. of the Soc. of Arts. Oct. 1895.
[2]) Moyes, Phil. Magaz. Edinbourgh 1801.
[3]) Davy, Journ. of the Roy. Soc. 1.
[4]) Robertson, Journ. de Paris, 12. März 1801.
[5]) Ritter, erwähnt von S. Thompson, Journ. of the Soc. of Arts 1895.
[6]) J. Cuthberson, Practical Electricity and Galvanism 1807, p. 260.
[7]) Böckmann, Gilb. Ann. 1801, 7, p. 259.
[8]) Pfaff, Gilb. Ann. 1801, 7, p. 248 u. 514.
[9]) Ritter, Gilb. Ann. 1801, 9, p. 342.
[10]) Simon, Gilb. Ann. 1801, 9, p. 393.
[11]) Davy, Phil. Trans. 1821, 2, p. 457.

Digitized by Google

früheren schon oben angeführten Versuche nachzuweisen, dass zwischen den Kohlenelektroden eine zusammenhängende Flamme erhalten werden könne, welche eine Länge von 10 cm in der Luft und von 18 cm im luftleeren Raume erreicht. Davy hielt dabei die Kohlenstäbchen horizontal in gleicher Höhe, so dass die Flamme infolge des durch

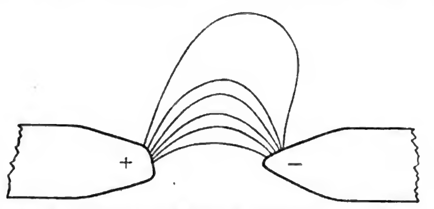


Fig. 1. Lichtbogen zwischen horizontalen Elektroden.

Erhitzung aufsteigenden Luftstromes eine bogenförmige Gestalt wie in Fig. 1 annahm. Dieser Umstand veranlasste ihn, die Flamme als Lichtbogen zu bezeichnen. Obwohl bei der jetzt gebräuchlichen vertikalen Stellung der Kohlen eine bogenförmige Flamme, wie bei horizontaler Lage derselben, sich nicht bildet, hat man dennoch die Bezeichnung Lichtbogen seit Davy beibehalten.

Die Holzkohle, welche Davy und seine nächsten Nachfolger zur Bildung des Lichtbogens verwendeten, wurde hiebei so rasch verzehrt, dass Foucault 1843 aus Retortenkohle geschnittene Kohlenstifte benützte, welche bei grösserer Haltbarkeit weniger rasch verbrannten und ein ruhigeres Licht lieferten. Im folgenden Jahre empfahl Foucault[1]) die Retortenkohle zu alleiniger Verwendung. Schon vorher hatte Grove[2]) nachgewiesen, dass eine Beimengung von Natrium, Kalium oder deren Salzen zu den Kohlen die Wirkung habe, dass man die Flamme auf eine grosse Länge ausziehen kann, ohne dass sie abreisst. Unabhängig davon hat Casselmann[3]) gezeigt, dass ein Tränken der Kohlen mit verschiedenen Lösungen, z. B. mit Borsäurelösung, den Lichtbogen beruhige. In der neueren Zeit werden bekanntlich die Kohlenstifte künstlich aus einem Gemenge von schwarzem Graphit mit Russ und Teer hergestellt, getrocknet und bei einer starken Hitze unter Luftabschluss gebrannt. Die sogenannten Homogen-

[1]) Foucault, Compt. rend. 1844, **18**, p. 696.
[2]) Grove, Phil. Mag. 1840, **16**, p. 480.
[3]) Casselmann, Pogg. Ann. 1844, **63**, p. 571.

Digitized by Google

kohlen sind massive Kohlenstäbe, während die Dochtkohlen aus hohlen Kohlenstäben bestehen, welche mit einem Kern, meist einem Gemenge aus weissem Graphit mit Wasserglas, ausgefüllt und dann getrocknet werden. Die Dochtkohle bezweckt hauptsächlich, den Lichtbogen zu zentrieren.

Vorerst seien nur einige Eigenschaften des Lichtbogens hervorgehoben. Bekanntlich muss man, um einen Lichtbogen zu bilden, die Kohlenstifte anfänglich miteinander in Berührung bringen, sodann dieselben voneinander entfernen und in einem passenden Abstande erhalten. Vor Berührung der Kohlenstifte findet selbst bei sehr geringem Kohlenabstande ein Stromübergang im allgemeinen nicht statt, es müsste denn durch beträchtliche Spannungsdifferenz an den Kohlenenden der Luftzwischenraum von einem Entladungsfunken durchschlagen werden. Nachher dagegen bleibt der Strom erhalten, indem die von den erhitzten Kohlenelektroden abgerissenen, hauptsächlich wohl dampfförmigen Partikelchen eine Brücke bilden. Diese Strombrücke verhält sich aber nicht wie ein einfacher fester Leiter, insbesondere kann der Zusammenhang zwischen Spannungsdifferenz (V) am Lichtbogen, Widerstand (O) desselben und Stromstärke (A) insoweit nicht unzweideutig durch das Ohmsche Gesetz $V = A \cdot O$ ausgedrückt werden, da der Widerstand des Lichtbogens nicht ein von den elektrischen Grössen unabhängiger Wert ist. Eine der Hauptaufgaben bei den Untersuchungen über den Lichtbogen bildet deshalb immer die Aufklärung des Lichtbogenwiderstandes, und wird dieselbe im folgenden mehrfach berührt werden. Ganz verschieden müssen die Vorgänge in einem Lichtbogen sein, je nachdem derselbe von einem Gleichstrom oder einem Wechselstrom hervorgerufen wird. Es ist wohl selbstverständlich, dass die Lichtausstrahlung, der Verbrauch der Kohlen und das elektrische Verhalten wesentlich verschieden sein müssen, wenn man Gleichstrom oder Wechselstrom benützt; aus diesem Grunde sollen auch im folgenden die Betrachtungen für den Gleichstrom- und Wechselstromlichtbogen getrennt werden.

I. Gleichstromlichtbogen.

Bei den praktischen Anwendungen des Lichtbogens wird derselbe entweder zwischen zwei homogenen Kohlen oder zwischen einer Docht- und einer Homogenkohle hervorgerufen; das letztere ist bei uns in Deutschland jetzt allgemein gebräuchlich. Die Kohlen sind dabei fast immer vertikal übereinander, die positive Elektrode, meist eine Docht-

Digitized by Google

kohle, befindet sich oberhalb, die negative Elektrode, eine Homogenkohle, ist unterhalb. Fast nur bei Scheinwerfern werden auch heute die Kohlenaxen horizontal gestellt; es wird jedoch nicht notwendig, diesen Fall für sich zu betrachten, da die geringen hiebei auftretenden Unterschiede leicht verständlich sind. Sowohl die positive wie die negative Kohle verbrennen, während der Lichtbogen im Betriebe ist; die positive Kohle aber beträchtlich rascher, näherungsweise doppelt so rasch. Ueber die Abnützung der Kohlen sind nur wenige Angaben vorliegend. Fontaine[1]) erwähnt einige Beobachtungen aus den Jahren 1876 bis 1878; die Hauptresultate derselben sind: der Abbrand der positiven Kohlen verhält sich zu dem der negativen im Mittel wie 1 : 2,5, und der totale Abbrand beider Kohlen ist für 1 qcm Kohlenquerschnitt für je zwei Proben aus Retortenkohle 51 und 49 mm, aus künstlicher Kohle von Archereau 66 und 53 mm, von Carré 77 und 44 mm und von Gauduin 73 und 78 mm in der Stunde. Für Dochtkohlen findet Uppenborn[2]), dass sie bei einem spezifischen Gewicht der Kohle von 1,42 bis 1,62 in der Stunde einen Abbrand von 4,15 bis 4,85 qcm bei einer Stromstärke von 7,75 Ampère haben, was bei dem Durchmesser der Kohlen von 10 mm einer Längenabnahme von 35 bis 40,7 mm in der Stunde entspricht. Homogenkohlen, welche ein spezifisches Gewicht von 1,4 bis 1,64 besassen, verloren in der Stunde durch Abbrand 2,6 bis 3,05 g, so dass die 10 mm Kohlen in der Stunde um 22,6 bis 23,8 mm kürzer wurden. Im folgenden sind endlich noch einige im Jahre 1894 von der elektrotechnischen Versuchstation München gewonnene, bisher noch nicht veröffentlichte Resultate wiedergegeben.

Dimensionen in Millimeter				Stromstärke in Amp.	Spannung in Volt	Lichtbogen in Millimeter	Abbrand pro Stunde in			
posit. Kohle		negat. Kohle					Millimeter		Gramm	
Länge	Durchmesser	Länge	Durchmesser				positive Kohle	negat. Kohle	positive Kohle	negat. Kohle
235	20	235	12	10	50,2	2.8 bis 3,0	14,5	19,0	7,12	3,52
"	"	"	"	"	50,5	"	13,5	15,0	6,97	2,57
"	"	"	"	"	47,1	"	10,5	12,5	5,32	2,43
"	"	"	"	"	50,4	"	12,0	15,05	6,05	2,72
235	15	235	9	5	48,5	1,8 bis 2,0	16,5	18,0	4,07	1,88
"	"	"	"	"	49,2	"	13,0	14,0	3,47	1,36
"	"	"	"	"	45,7	"	12,0	13,0	3,13	1,29
"	"	"	"	"	47,2	"	12,0	14,5	3,33	1,47

[1]) Fontaine, Elektrische Beleuchtung, übers. von Ross, p. 85 bis 87.
[2]) Uppenborn, Kalender, p. 154.

Digitized by Google

Dimensionen in Millimeter				Stromstärke in Amp.	Spannung in Volt	Lichtbogen in Millimeter	Abbrand pro Stunde in			
posit. Kohle		negat. Kohle					Millimeter		Gramm	
Länge	Durchmesser	Länge	Durchmesser				positive Kohle	negat. Kohle	positive Kohle	negat. Kohle
180	15	180	9	5	40,6	1,8 bis 2,0	15,0	14,5	3,75	1,72
„	„	„	„	„	49,7	„	11,5	15,5	3,52	1,44
„	„	„	„	„	47,0	„	12,5	13,0	3,34	1,19
„	„	„	„	„	47,2	„	14,5	15,5	3,97	1,60
110	11	110	7	3	49,6	1,5 bis 1,7	18,0	25,0	2,72	2,32
„	„	„	„	„	49,0	„	16,0	24,0	2,53	1,17
„	„	„	„	„	45,0	„	18,0	20,0	3,20	0,98
„	„	„	„	„	45,5	„	19,0	23,0	2,16	1,08
110	9	110	6	2	48,0	1,5 bis 1,7	25,0	24,5	2,30	1,02
„	„	„	„	„	49,2	„	27,0	25,0	2,24	0,97
„	„	„	„	„	48,4	„	23,0	24,0	1,74	0,88
„	„	„	„	„	50,2	„	23,0	26,5	1,98	0,94

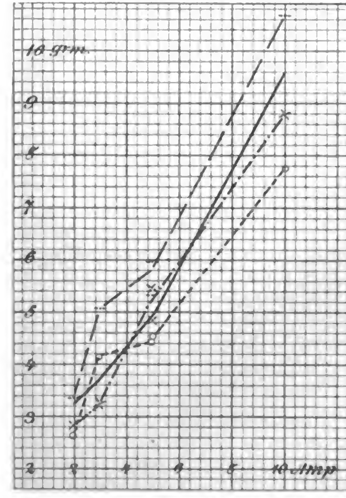


Fig. 2. Zusammenhang zwischen Kohlenverbrauch und Stromstärke.

Die positiven Kohlen brennen somit 2,24mal rascher ab als die negativen, und der totale Abbrand beider Kohlen zusammen wächst mit der Betriebsstromstärke, wie aus Fig. 2 ersichtlich ist, in welcher für die verschiedenen untersuchten Kohlen der mit der Stromstärke veränderliche Abbrand dargestellt ist. Es mag noch die Bemerkung Platz finden, dass in der neueren Zeit ziemlich allgemein der Durchmesser der positiven Kohle grösser genommen wird als der der negativen — es ist dies auch in der obigen Tabelle ersichtlich — um nahe gleiche Längen beider Kohlen zu verbrennen.

Ueber die chemischen Vorgänge im Lichtbogen, wenn dieser in der Luft sich bildet, liegen einige Beobachtungen von Dewar[1]) vor; er entnahm durch röhren-

[1]) Dewar, Proc. of the Roy. Soc. **30**, p. 85, 1880.

Digitized by Google

förmige Aushöhlungen in den Kohlen die sich im Lichtbogen bildenden Gase und analysierte dieselben. Das Gasgemenge enthielt nicht allein Kohlensäure und Kohlenoxyd, sondern auch Stickstoffverbindungen, darunter bei Gegenwart von feuchter Luft Blausäure, Cyan und salpetrige Säure. Auf solche Bildungen lässt sich wohl der schon häufig bemerkte, wahrscheinlich aber von S. Thompson [1]) zuerst hervorgehobene Geruch der Bogenlampen zurückführen. Thompson fügt bei, dass im Lichtbogen von 40 bis 50 Volt Spannung nur sehr geringe Mengen der unangenehm riechenden und giftigen stickstoffhaltigen Verbindungen entstehen, während diese Mengen bei Lichtbogen von hoher Spannung sich rascher wahrnehmbar machen. Glücklicherweise seien die mehr oder weniger giftigen Verbindungen nur in geringer Menge auftretend.

Erhält man längere Zeit den Lichtbogen unter gleichbleibenden Bedingungen, so nehmen die Kohlenstäbe an den abbrennenden Enden eine stationäre Form an. Der positive wird etwas zugespitzt unter Bildung einer kraterförmigen Aushöhlung am unteren Ende, der negative aber stark konisch verjüngt. In nebenstehender Fig. 3 ist eine schematische Zeichnung der Kohlenstifte sowie des Lichtbogens gegeben; mit Hilfe derselben soll, einer Beschreibung von H. Ayrton [2]) folgend, die Form der Kohlen und die Erscheinung des Lichtbogens nachgehend geschildert werden. Die positive obere Kohle leuchtet in der Kraterhöhlung (a) am stärksten und ist dort weissglühend; daran schliesst sich ein glatter, immer noch leuchtender Teil (b) an, sodann ein rauhes dunkleres Band (c) und noch höher ein Kranz von Kugeln (d). Bei der negativen Kohle ist die Spitze (e) ebenfalls weissglühend; daran reiht sich eine glatte, gelb leuchtende Fläche (f), dann ein rauher, mit sehr der kleinen Kugeln bedeckter rötlich gelber Teil (g) und endlich ein Kranz von Kugeln (h), welche jedoch etwas kleiner sind als die an der positiven Kohle.

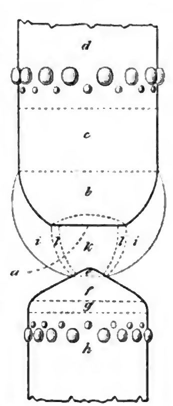


Fig. 3. Gleichstrom-Lichtbogen.

[1]) S. Thompson, Journ. of the Soc. of Arts 1895.

[2]) H. H. Ayrton, The Electrisian 1895, I., p. 319, 335, 351, 364, 399, 471, 541, 596, 610; II., p. 418, 635, 743 und 1896, p. 36, 225, 539. Wie hier, soll auch im folgenden, wenn nicht ein besonderes Citat gegeben, immer die Veröffentlichung von H. Ayrton gemeint sein.

Digitized by Google

An dem Lichtbogen sind hauptsächlich der äussere grünliche Teil (i) und der innen liegende violette (k) zu unterscheiden, welche durch ein schwarzes Band (l) getrennt sind. Die an beiden Kohlen sich absetzenden Kugeln können bei der hohen Temperatur des Lichtbogens aus dem den Kohlen bei der Fabrikation zugemengten Teer und Sirup oder auch aus der schmelzenden Kohle selbst sich bilden. An den oben erwähnten rauhen Stellen sind die Kugeln durch Abschmelzen kleiner geworden, an den glatten Flächen vollständig zusammengeschmolzen.

Ayrton macht darauf aufmerksam, dass der stationäre Zustand bezüglich der Form der Kohlen meist erst nach sehr langer Zeit eintritt; deshalb ist klar, dass viele Beobachtungen, bei welchen hierauf keine Rücksicht genommen wurde, für eine Reihe von Schlüssen vollkommen unbrauchbar sind und manche Versuchsresultate scheinbar ganz unerklärliche Unregelmässigkeiten zeigen.

Um eine bestimmte Definition der Lichtbogenlänge einzuhalten, wollen wir, wie das auch Ayrton annahm, im allgemeinen unter Bogenlänge den vertikalen Abstand zwischen der Kante des Kraters an der positiven Kohle und der Spitze der negativen Kohle verstehen. Es ist selbstverständlich, dass dieser Bezeichnung gemäss eine Bogenlänge Null nicht einer Berührung beider Kohlen entspricht, da, von der Stellung Null ausgehend, die Spitze der negativen Kohle noch um die ganze Kratertiefe gegen die positive Elektrode bewegt werden müsste, bis eine Berührung mit der positiven Kohle eintreten könnte.

Endlich sei noch erwähnt, dass ein Lichtbogen ohne Geräusch „ruhig“ oder auch mit Geräusch „zischend“ brennen kann.

Wir wollen nun sowohl für den ruhigen wie für den zischenden Gleichstrom-Lichtbogen in eingehender Weise betrachten: 1. Die Form der Kohlen, 2. die elektrischen Grössen des Lichtbogens und 3. die Lichtausstrahlung.

1. Form der Kohlenenden nach Bildung eines stationären Lichtbogens.

Eine genaue Bestimmung der Form der Kohlenenden ist schon deshalb mit grossen Schwierigkeiten verbunden, weil alle Ungleichförmigkeiten in dem Material der Elektroden auch Unregelmässigkeiten im Abbrennen der Kohlen bedingen; ferner aber hat man, wie schon erwähnt, grosse Sorgfalt darauf zu verwenden, dass die Form für einen bestimmten Zustand, z. B. bestimmte Stromstärke und Bogenlänge, sich

Digitized by Google

vollständig richtig ausgebildet hat, was nur dann erfolgt, wenn man längere Zeit, oft über eine halbe Stunde, einen vollkommen gleichmässigen Zustand erhalten hat. Selbst bei genauester Einhaltung der oben angegebenen Bedingungen werden Messungen, insbesondere an dem Krater, durch kleine Erhöhungen an den Kanten sowie durch Unregelmässigkeiten in der Höhlung ausserordentlich erschwert, so dass nur Resultate von geringer Genauigkeit zu erzielen sind.

Beide Kohlen, die positive und die negative, verjüngen sich gegen ihr Ende hin konisch. Genauere Angaben über die Schärfe der Zuspitzungen sind bisher wenige gemacht worden. Ayrton hebt folgende Beobachtungen hierüber hervor. Bei grossem Strom brennen beide Kohlen von den Enden aus weiter ab als bei geringem Strom; und insbesondere spitzt sich die negative Kohle immer mehr zu, je kürzer der Bogen und je grösser der Strom wird. Es scheint, dass die Erhitzung der negativen Kohle hauptsächlich durch Strahlung der positiven Kohle und ferner durch die von der positiven nach der negativen Kohle übergeführten heissen Kohlenteilchen herrührt. Bei kleinem Strom wird deshalb die durch Abbrennen erzeugte Spitze an der negativen Kohle kurz und stumpf, bei grossen Stromstärken dagegen länger und schlanker. Auch die positive Kohle wird bei kurzem Lichtbogen mehr zugespitzt als bei längerem Bogen; sie wird nämlich verzehrt sowohl durch Verflüchtigung von Kohle wie auch durch Verbrennen in der Luft. Die Verflüchtigung von Kohle muss hauptsächlich an der Krateroberfläche erfolgen und wird je nach ihrer Stärke die mehr oder weniger tiefe Höhlung des Kraters bedingen. Die Verbrennung aber muss da, wo die hoch erhitzte Kohle mit Luft in Berührung kommen kann, also hauptsächlich am Rande des Kraters, stattfinden, so dass das untere Ende der Kohle rascher als die höher liegenden Seitenwände derselben abbrennen. Bei grosser Stromstärke und insbesondere bei kurzem Lichtbogen werden die im Krater sich bildenden flüchtigen Kohlenteilchen immer mehr nach der Seite hingedrängt, so dass auch die Seitenflächen so stark sich erhitzen, dass sie verbrennen, wodurch, wie schon erwähnt, die positive Kohle am unteren Ende sich immer mehr zuspitzt. An der negativen Kohle zeigt sich endlich bei sehr kurzem Lichtbogen noch eine aufgesetzte Spitze, ein „Pilz“, wie in der nebenstehenden Fig. 4 ersichtlich ist. Sylv. Thompson sieht

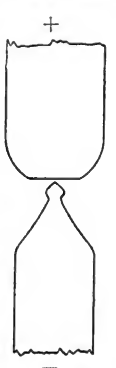


Fig. 4. Kurzer Lichtbogen.

diese Spitze als charakteristisch für einen zischenden Lichtbogen an, während H. Ayrton nachweist, dass derselbe auch bei ruhigem Bogen und jeder Stromstärke immer dann eintritt, wenn der Lichtbogen genügend kurz ist. Es wird nach Ansicht von Ayrton der Pilz durch Kohle gebildet, die sich auf der negativen Elektrode von dem Krater her auflagert. Wenn man den Bogen verlängert, erreicht immer weniger Kohle, die aus dem Krater gegen die negative Spitze geschleudert wird, die negative Elektrode, und der Pilz wird immer kleiner, bis er endlich verschwindet. Von grosser Bedeutung ist die Form der Krateraushöhlung an der positiven Kohle, weshalb Ayrton[1])

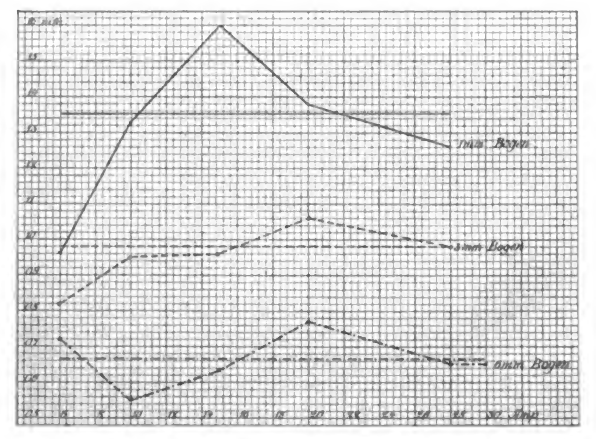


Fig. 5. Kratertiefen für verschiedene Stromstärken.

durch eine eingehende Untersuchung die Abhängigkeit dieser Kraterform bei Dochtkohlen von der Stromstärke und der Bogenlänge, mit welcher der Lichtbogen betrieben wurde, feststellte. Die für die Kratertiefe gewonnenen Resultate sind in Fig. 5 zusammengestellt. Man sieht daraus, dass die Kratertiefe bei gleicher Stromstärke mit geringer werdender Bogenlänge zunimmt. Die erhaltenen Mittelwerte sind nämlich

[1]) Ayrton a. a. O.

Digitized by Google

für 1 mm Bogenlänge:	1,36 mm Kratertiefe
„ 3 „ „	0,98 „ „
„ 6 „ „	0,67 „ „

Auch von der Stromstärke scheint die Kratertiefe abhängig zu sein; wenigstens lassen die Kurven in Fig. 5 schliessen, dass für jede Bogenlänge bei einer bestimmten Stromstärke ein Maximum der Kratertiefe auftrete, ferner aber, dass das Maximum bei grösseren Bogen-

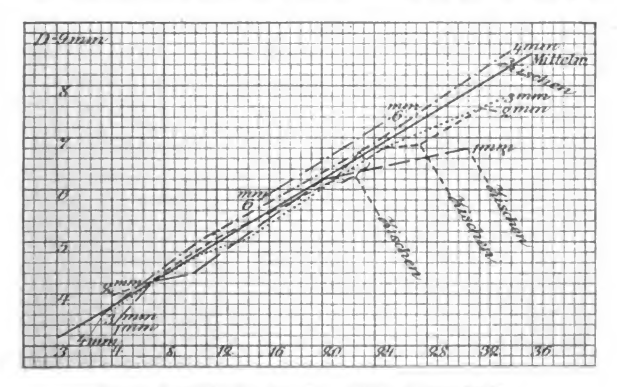


Fig. 6. Kraterdurchmesser für verschiedene Stromstärken.

längen immer weniger ausgesprochen wird, und dass dieser Maximalwert für geringere Bogenlängen immer erst bei höheren Stromstärken eintritt.

Wie die Kratertiefe ist auch die Kraterweite veränderlich; genauere Angaben darüber, wie der Durchmesser des Kraters mit der Bogenlänge und der Stromstärke sich ändert, hat ebenfalls Ayrton gemacht. Die Resultate dieser Beobachtungen, welche an zwei verschiedenen Kohlenpaaren ausgeführt wurden, sind in den Fig. 6 und 7 wiedergegeben. Die positiven Kohlen waren in beiden Fällen Dochtkohlen, und zwar von 13 mm Durchmesser, die negativen Homogenkohlen von 11 mm Durchmesser. Für das erste Kohlenpaar wurden die Kraterdurchmesser für Lichtbogenlängen von 1, 2, 3, 4 und 6 mm und für Stromstärken von 4, 7, 10, 15, 20, 22 Amp. ausgemittelt; die Kurve für jede Bogenlänge ist sehr nahe einer geraden Linie, die für 1, 2 und 3 mm enthaltenen Geraden sind fast zusammenfallend,

Digitized by Google

die für 4 und 6 mm Bogenlänge zeigen jedoch, dass die Geraden immer grössere Winkel mit der Abscissenachse für steigende Bogenlängen bilden, so dass sich dieselben nahe in einem Punkte der Ordinatenachse treffen. Die Unterschiede sind jedoch so gering, dass ohne grossen Fehler alle Kurven durch *eine* gerade Linie ersetzt

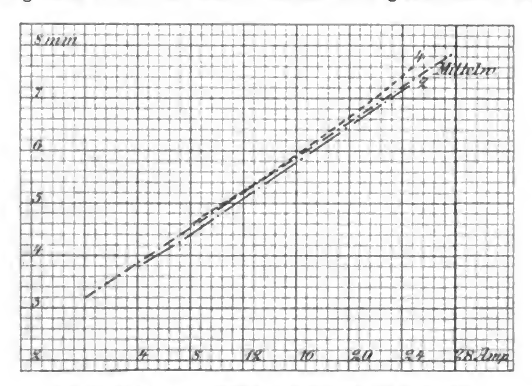


Fig. 7. Kraterdurchmesser für verschiedene Stromstärken.

werden können, welche in Fig. 6 durch eine ausgezogene Linie eingezeichnet ist und durch die Gleichung

$$D = 3{,}2 + 0{,}15\ A$$

dargestellt werden kann. D bedeutet den Kraterdurchmesser in Millimeter und A die Stromstärke in Ampère. An dem zweiten Kohlenpaar wurden folgende Resultate gewonnen:

Betriebs-Stromstärke in Ampère	Gemessene Kraterdurchmesser in Millimeter für Bogenlängen von 2 mm	4 mm
4	3,8	—
7	4,2	4,4
10	4,75	4,9
15	5,6	5,8
20	6,45	6,6
25	7,25	7,0

Es sind diese Beobachtungen in Fig. 7 eingetragen und lassen sich sehr genau für die Bogenlänge von 2 mm durch die Gleichung

Digitized by Google

$D = 3{,}2 + 0{,}162\ A$ und für die Bogenlänge von 4 mm durch $D = 3{,}2 + 0{,}172\ A$ darstellen; ohne grossen Fehler kann man auch den in Fig. 7 gezeichneten Mittelwert $D = 3{,}2 + 0{,}166\ A$ benützen.

Wie aus Fig. 6 ersichtlich, gelten die linearen Gleichungen nur für ruhigen Lichtbogen; zischende Lichtbogen geben beträchtliche Abweichungen, welche jedoch eine Regelmässigkeit nicht erkennen lassen. Zweifelhaft bleibt es ferner, ob für Stromstärken unter 4 Ampère, für welche Ayrton bisher keine Versuche ausführte, die Kraterdurchmesser bei immer kleineren Stromstärken dem Grenzwerte 3,2 oder einem geringeren Werte, etwa der Null, sich nähern. Ayrton will die Entscheidung dieser Frage durch eigene Versuche treffen.

Als Hauptresultat der Untersuchung über die Kraterform ist zu bezeichnen, dass für einen ruhigen Lichtbogen und für Stromstärken über 4 Ampère der Kraterdurchmesser bei allen Lichtbogenlängen eine lineare Funktion der Betriebsstromstärken bildet. Es stimmt dies mit den Angaben von S. Thompson nicht vollständig überein, welche nämlich dahin gehen, dass der Flächeninhalt des Kraters mit der Stromstärke proportional sei. Dieser Ausspruch von S. Thompson erscheint durch Beobachtungen von Andrews [1]) gestützt. Wenn D den Kraterdurchmesser in Zoll, F die Kraterfläche in Quadratzoll, und A die Betriebsstromstärke in Ampère bedeutet, ist nach den Versuchen von Andrews

D =	0,140	0,156	0,266	0,326	0,453
F =	0,0176	0,0243	0,0556	0,0825	0,1602
A =	9	12	29	42	81

und somit ist

$$\frac{F}{A} = 0{,}00196 \quad 0{,}00202 \quad 0{,}00192 \quad 0{,}00196 \quad 0{,}00199$$

Es ist jedoch fraglich, ob die von Andrews gewonnenen Resultate ganz zuverlässig sind, da es zweifelhaft, ob er vor den Messungen den stationären Zustand des Kraters genügend abwartete. H. Ayrtons Beobachtungen, bei welchen diese Bedingung sicher erfüllt war, lassen einen so einfachen Zusammenhang zwischen Kraterfläche und Stromstärke nicht erkennen. Nimmt man nämlich als Inhalt der Kraterfläche die Kreisfläche an, welche durch die Kantenlinie des Kraters gebildet ist, so wird dieser Flächeninhalt F, wenn man den mittleren durch die Beobachtungen Ayrtons gefundenen Wert D der Kraterdurchmesser, nämlich $D = 3{,}2 + 0{,}16\ A$ zu Grunde

[1]) Andrews, La Lumière 1880, 11. p. 463.

Digitized by Google

legt, $F = 8{,}04 + 0{,}80\ A + 0{,}02\ A^2$. Ob etwa der Inhalt der wahren Kraterfläche proportional der Stromstärke sei, ist noch nicht zu entscheiden, da eine genaue Ausmessung der Kraterhöhle noch nicht vorliegt, von Ayrton jedoch beabsichtigt ist.

2. Die elektrischen Grössen des Lichtbogens.

a) Ruhiger Lichtbogen.

Der Zusammenhang der elektrischen Grössen des Lichtbogens, nämlich der Spannungsdifferenz an seinen Enden, der Stromstärke sowie des scheinbaren Widerstandes untereinander und mit der Bogenlänge wurde von verschiedenen Beobachtern studiert. Die älteren Untersuchungen konnten jedoch, wie schon erwähnt, allgemein giltige Relationen nicht liefern, da früher nicht darauf geachtet wurde, dass die Form der Kohlen vor Beobachtung der Spannungsdifferenz schon eine für den verlangten Strom und Bogenlänge normale geworden ist.

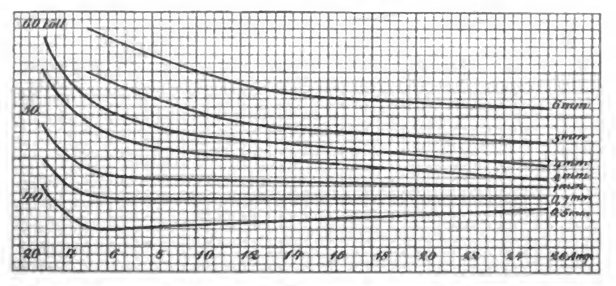


Fig. 8. Spannungsdifferenz für verschiedene Stromstärken (Dochtkohlen).

H. Ayrton, welcher zuerst auf die Notwendigkeit einer genauen Einhaltung dieser Bedingung aufmerksam machte, lieferte auch durch neuere Untersuchungen die einzigen vollkommen tadelfreien Resultate. An Hand dieser Beobachtungen von H. Ayrton soll vor allem der Zusammenhang zwischen Spannungsdifferenz des Lichtbogens und der Betriebsstromstärke bei konstanter Bogenlänge betrachtet werden.

Sowohl bei Homogenkohlen wie bei Dochtkohlen wird für eine gegebene Stromstärke und eine bestimmte Bogenlänge nach kürzerer oder längerer Zeit die Spannungsdifferenz konstant. Dieser Beharrungszustand ist dann erreicht, wenn die der betreffenden Bogenlänge und Stromstärke entsprechende Form der Kohlen sich gebildet hat,

Digitized by Google

wobei hauptsächlich die Form der positiven, weniger die der negativen von Einfluss ist. Je kürzer der Lichtbogen und je kleiner die Stromstärke, desto längere Zeit wird verfliessen, bis ein stationärer Zustand in der Spannungsdifferenz eingetreten ist. Schwendler[1]) hatte, wie Ayrton angibt, im Jahre 1879 aus seinen Beobachtungen gefolgert, dass die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Kohlen für eine bestimmte Bogenlänge unabhängig vom Betriebsstrom sei. Dieses Resultat schien durch die Beobachtungen von Ayrton und Perry[2]) bestätigt

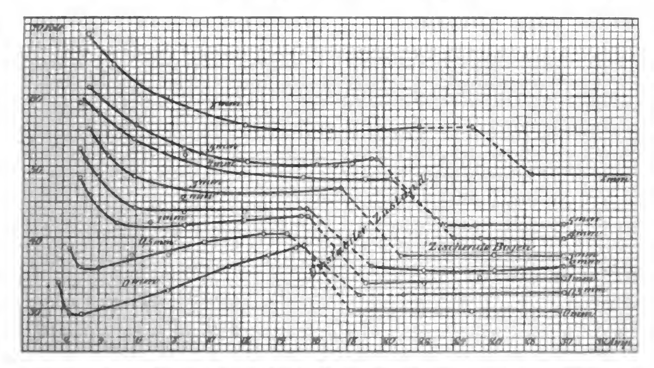


Fig. 9. Spannungsdifferenz für verschiedene Stromstärken (Docht- u. homogene Kohle).

zu werden. Erst die neueren Untersuchungen von H. Ayrton zeigen, dass nur innerhalb gewisser Grenzen die Spannungsdifferenz von der Stromstärke unabhängig ist, und dass eine Verschiedenheit auftritt, je nachdem man zwei Dochtkohlen, eine positve Docht- und eine negative Homogenkohle, oder zwei Homogenkohlen verwendet.

In Fig. 8 ist für zwei Dochtkohlen, eine positive von 18 mm und eine negative von 15 mm Durchmesser, der Zusammenhang zwischen Spannungsdifferenz und Stromstärke bei verschiedenen Lichtbogenlängen dargestellt. Man sieht aus dieser Figur, dass für Stromstärken über 5 Ampère und Bogenlängen, welche grösser als 0,7 mm sind, die Spannungsdifferenzen mit wachsender Stromstärke abnehmen, dagegen bei Bogenlängen unter 0,7 mm mit grösseren Stromstärken zunehmen. Fast unabhängig von der Stromstärke ist die Spannungs-

[1]) Schwendler, The Electrician 2, 1879, p. 107 u. 117.

[2]) Ayrton and Perry, Proc. Phys. Soc. 1882, 5, p. 197.

Digitized by Google

differenz, wenn die Bogenlänge von 0,7 mm eingehalten wird; nur bei sehr kleinen Stromstärken, nämlich solchen, die unter 5 Ampère liegen, nimmt die Spannungsdifferenz rasch mit wachsender Stromstärke ab. Wie bei der Bogenlänge von 0,7 mm ist der erwähnte rasche Spannungsabfall auch für alle übrigen Bogenlängen ersichtlich. Aehnliche, wenn auch nicht ganz gleiche Resultate liefern Beobachtungen mit nur einer Dochtkohle. Wenn man z. B. eine positive Dochtkohle von 9 mm und eine negative Homogenkohle von 8 mm

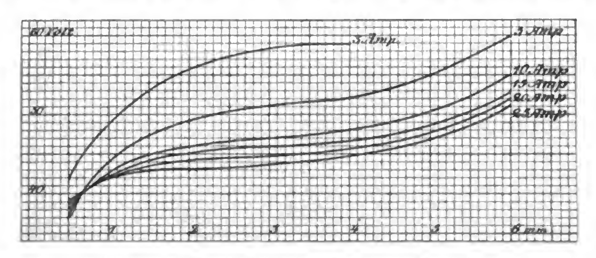


Fig. 10. Spannungsdifferenz für verschiedene Bogenlängen (Dochtkohlen).

Durchmesser verwendet, erhält man die Kurven in Fig. 9. Auch in diesem Falle ist bei sehr geringer Stromstärke, auch etwa bis 5 Ampère, ein rascher Abfall der Spannungsdifferenz mit steigender Stromstärke nachzuweisen; dagegen ist für keine Bogenlänge die Spannungsdifferenz so unabhängig von der Stromstärke wie für zwei Dochtkohlen bei der Bogenlänge von 0,7 mm. Es ist dieser Unterschied, der bei Benützung zweier Dochtkohlen oder einer Dochtkohle mit Homogenkohle sich zeigt, noch deutlicher zu erkennen, wenn man, wie in den Fig. 10 und 11, die Bogenlängen als Abscissen und die Spannungsdifferenzen als Ordinaten aufträgt. In Fig. 10 (für zwei Dochtkohlen) schneiden sich die für 5 bis 25 Ampère gezogenen Kurven sehr nahe in einem Punkte und sind die Koordinaten desselben 41 Volt und 0,7 mm; nur die Kurve für eine Stromstärke von 3 Ampère hat nicht den gleichen Schnittpunkt mit den übrigen Kurven. Im Gegensatze hiezu schneiden sich in Fig. 11 (für eine Docht- und eine Homogenkohle) die Kurven nicht in einem Punkte, wenn sie auch für eine Bogenlänge von etwa 1,25 mm näher aneinander gerückt sind als für die anderen Längen; die für 3 Ampère giltige Kurve zeigt auch bei diesen Kohlen eine beträchtlichere Verschiebung des Schnittpunktes als die Kurven für die anderen Stromstärken. Auf die in den Fig. 9

Digitized by Google

und 10 gezeichneten Kurvenstücke, welche sich auf den unsteten Zustand und den zischenden Bogen beziehen, wird später noch zurückgekommen werden. Sind endlich beide Kohlen homogen, so gibt es keine Bogenlänge, für welche die Spannungsdifferenz auch nur annähernd von der Stromstärke unabhängig ist, dagegen findet der

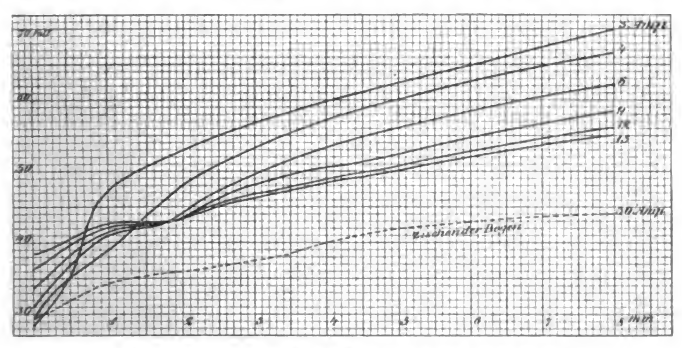


Fig. 11. Spannungsdifferenz für verschiedene Bogenlängen (Docht- und Homogenkohle).

rasche Spannungsabfall bei geringen Stromstärken auch bei zwei homogenen Kohlen statt. Beides ist aus Fig. 12 ersichtlich, in welcher für alle Bogenlängen die Spannungsdifferenzen mit wachsender Stromstärke abnehmen und bei geringen Stromstärken, unter 5 Ampère, eine rasche Spannungsabnahme mit wachsender Stromstärke eintritt. Noch deutlicher zeigt Fig. 13, dass für diese Homogenkohlen bei keiner Bogenlänge die Spannungsdifferenz von der Stromstärke unabhängig ist, da die für die verschiedenen Ströme gezogenen Kurven sich überhaupt nicht im positiven Teile des Koordinatensystems schneiden, wie dies ja in den vorausgehenden Fällen, in welchen eine oder beide Kohlen gedochtet waren, stattfand.

H. Ayrton hatte bei den Beobachtungen mit Dochtkohlen den Durchmesser der Kohlen sehr geändert, dennoch konnte ein wesentlicher Einfluss des Querschnittes der Dochtkohlen auf die zur Bildung des Lichtbogens notwendige Spannungsdifferenz nicht nachgewiesen werden. In beträchtlichem Masse bestimmt aber das Material der Elektroden jene Spannungsdifferenz. Wie oben erwähnt, hatten schon Grove und Casselmann gezeigt, dass eine Beimengung von Salzen

Digitized by Google

zu den Kohlen dann, wenn die Salze bei der Temperatur des Lichtbogens sich verflüchtigen, eine grössere Entfernung der Elektroden gestatten oder, was das Gleiche, bei derselben Bogenlänge nur eine geringere Spannungsdifferenz erfordern. Aus den angegebenen Versuchen von H. Ayrton ist nun auch zu folgern, dass es einen Unterschied bedingt, ob die Kohlen homogen oder ob sie gedochtet sind. Wenn beide oder nur eine der Kohlen einen Docht hat, bedarf der Lichtbogen bei gleicher Länge und gleicher Betriebsstromstärke eine

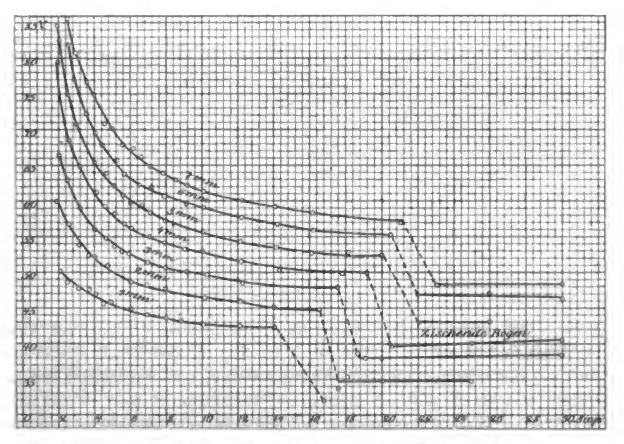


Fig. 12. Spannungsdifferenz für verschiedene Stromstärken (Homogenkohlen).

etwa 3 bis 6 Volt geringere Spannungsdifferenz, als wenn man Homogenkohlen anwendet; dabei ist die Verminderung der Spannungsdifferenz bei kurzen Lichtbogen grösser als bei langen und bei sehr geringen Stromstärken bedeutender als bei grösseren.

Die bisherigen Resultate kurz zusammenfassend, ist nachgewiesen, dass bei Anwendung von Docht- oder Homogenkohlen für Stromstärken unter 5 Ampère die Spannungsdifferenz, welche den Strom durch eine bestimmte Lichtbogenlänge sendet, mit steigender Stromstärke rasch abnimmt, dass ferner bei Verwendung von zwei Homogenkohlen für alle Bogenlängen die Spannung abnimmt, wenn die Stromstärke über 5 Ampère steigt, bei zwei Dochtkohlen dagegen für

Digitized by Google

eine bestimmte Bogenlänge die Spannung konstant bleibt, wie sich auch die Stromstärke ändert, für kleinere Bogenlängen zunimmt und für grössere immer kleiner wird. Benützt man eine positive Docht- und eine negative Homogenkohle, so ist für keine Bogenlänge die Spannung konstant, sie nimmt für geringe Bogenlängen fortwährend mit steigender Stromstärke zu und für grössere Bogenlängen anfänglich allmählich ab, um dann wieder zu wachsen. Der Querschnitt der Homogenkohle beeinflusst die Spannung nicht wesentlich; dagegen

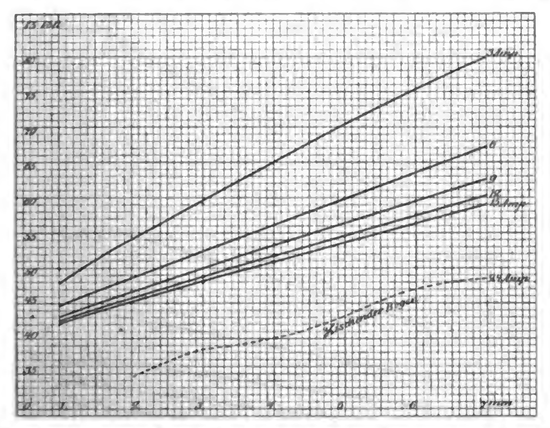


Fig. 13. Spannungsdifferenz für verschiedene Bogenlängen (Homogenkohlen).

veranlassen die Dochtkohlen gegenüber den Homogenkohlen ein Sinken der Spannung, insbesondere bei kurzen Lichtbogen und geringen Stromstärken. Dass bei sehr kleinen Stromstärken ein rascher Abfall der Spannungsdifferenz stattfindet, dürfte sich daraus erklären, dass bei immer kleineren Stromstärken der Lichtbogen eine grössere Abkühlungsfläche gegenüber seinem Querschnitte darbietet, so dass man zur Deckung dieses relativ immer beträchtlicheren Wärmebedarfes eine grössere Spannungsdifferenz notwendig hat. Bei grösseren Stromstärken werden die Aenderungen im Lichtbogen verwickelter, dürften jedoch ebenfalls die oben erwähnten Spannungsänderungen bedingen. Dass endlich die Spannung von dem Material der Elektroden abhängt, ist darauf zurückzuführen, dass bei einem geringeren Energieverlust

Digitized by Google

für die Verflüchtigung des Elektrodenmaterials auch eine geringere Spannungsdifferenz notwendig ist.

Während im vorausgehenden bei einer bestimmten Bogenlänge die notwendige Spannungsdifferenz für Erzielung einer gewissen Stromstärke betrachtet wurde, kann man auch den Quotienten aus Spannungsdifferenz und zugehöriger Stromstärke, den man bekanntlich als scheinbaren Widerstand des Lichtbogens bezeichnet, berechnen, um so den Zusammenhang zwischen scheinbarem Widerstand und Länge des

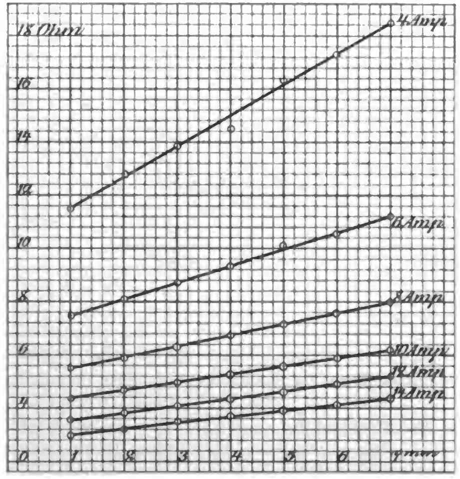


Fig. 14. Widerstand für verschiedene Bogenlängen und Stromstärken (Homogenkohlen).

Lichbogens zu erhalten. M. Cross und Shepard[1]) haben solche Widerstandskurven im Jahre 1886 für Homogenkohlen konstruiert, indem sie die Lichtbogenlängen als Abscissen und die Quotienten aus Spannungsdifferenz und Stromstärke als Ordinaten auftrugen. Sie fanden in allen Fällen gerade Linien, so dass sie den scheinbaren Widerstand als eine lineare Funktion der Bogenlänge betrachten und durch die Formel $O = a + b L$

[1]) Cross and Shepard, Proceedings of the Americ. Acad. of Arts and Science 1886, 16. Juni.

Digitized by Google

darstellen konnten, wobei O den scheinbaren Widerstand, L die Lichtbogenlänge und ferner a und b Konstanten bedeuten, welche aber von der Beschaffenheit der Kohlen und der Stromstärken abhängig sind. Das gleiche Resultat hat auch H. Ayrton für Homogenkohlen erhalten, wie man aus Fig. 14 erkennen kann, in welcher die in

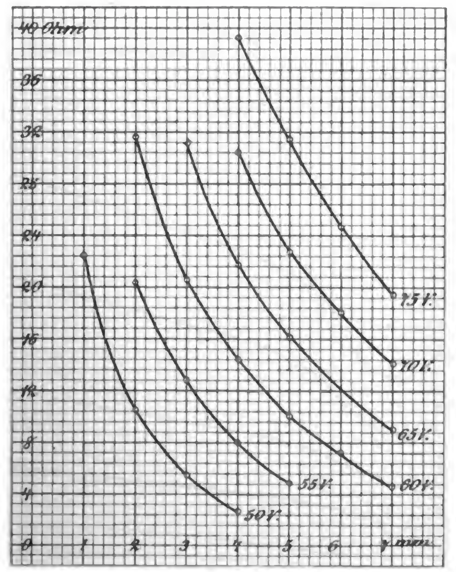


Fig. 15. Widerstand für verschiedene Bogenlängen und Spannungen (Homogenkohlen).

Fig. 12 schon verwendeten Beobachtungen zur Darstellung benützt sind. Die gleichen Beobachtungen sind in Fig. 15 so verwertet, dass für bestimmte Spannungsdifferenzen, nämlich für 50 bis 75 Volt, Kurven konstruiert wurden, deren Punkte als Koordination wie in Fig. 14 Länge und Widerstand des Lichtbogens haben; es sollen diese Kurven hauptsächlich zur Vergleichung mit den nachher zu erwähnenden entsprechenden Kurven für Dochtkohlen dienen. Die weiteren Beobachtungen von H. Ayrton an Dochtkohlen zeigen,

Digitized by Google

dass sich dieselben etwas verschieden von den Homogenkohlen verhalten. Auch hierüber gibt am besten eine Zeichnung Aufschluss; in Fig. 16 ist der Zusammenhang zwischen Widerstand und Bogenlänge für verschiedene Stromstärken dargestellt, hier in gleicher Weise für Dochtkohlen wie in Fig. 14 für Homogenkohlen. Man sieht, dass für bedeutende Stromstärken der Widerstand ebenfalls eine lineare

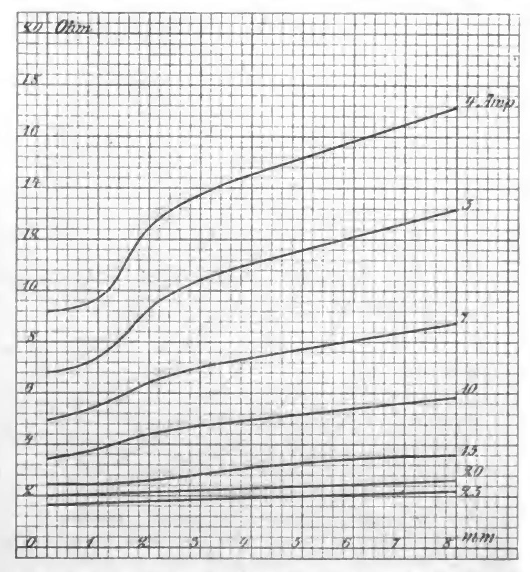


Fig. 16. Widerstand für verschiedene Bogenlängen und Stromstärken (Dochtkohlen).

Funktion der Bogenlänge bildet, dass aber bei geringeren Stromstärken dies nur dann zutrifft, wenn die Bogenlänge gross ist; bei kleineren Bogenlängen findet jedoch zwischen 3 mm und 1 mm ein rascher Abfall des Widerstandes statt, während bei noch kürzeren Bogenlängen als 1 mm der Widerstand wieder langsamer abnimmt. Es sind endlich in Fig. 17 für verschiedene Spannungsdifferenzen aus den gleichen Beobachtungen an Dochtkohlen Kurven konstruiert, welche wie die unter Fig. 15 für Homogenkohlen aufgeführten als Koordinaten Bogen-

Digitized by Google

länge und Widerstand haben. Aus den Kurven der Fig. 17 ist zu folgern, dass bei konstanter, über 46,5 Volt liegender Spannungsdifferenz der Widerstand des Lichtbogens mit wachsender Bogenlänge sich immer vermindert, dass bei Spannungen unter 46,5 Volt ein Maximalwiderstand nicht überschritten werden kann und nun bei einer Verminderung der Bogenlänge der Widerstand ebenfalls kleiner wird. Für einige Bogenlängen können somit bei gleicher Spannungsdifferenz zwei verschiedene Widerstände auftreten, z. B. für eine und dieselbe Spannung von 43,5 Volt und die Bogenlänge von 2 mm ein scheinbarer Widerstand von 1,6 und ein solcher von 4,8 Ohm. Der Verlauf der entsprechenden Kurven, welche für Homogenkohlen gewonnen wurden, unterscheidet sich wesentlich, da für alle Spannungsdifferenzen mit wachsender Bogenlänge die scheinbaren Widerstände abnehmen. Es können somit für den scheinbaren Widerstand des Lichtbogens folgende Sätze ausgesprochen werden. Bei Einhaltung konstanter Stromstärke und Benützung von Homogenkohlen ist der scheinbare Widerstand eine lineare Funktion der Bogenlänge, und bei Einhaltung konstanter Spannung nimmt der Widerstand mit wachsender Bogenlänge immer mehr ab. Wenn man Dochtkohlen verwendet und die Stromstärke konstant hält, findet bei kleineren Bogenlängen und geringeren Stromstärken ein rascher Abfall des Widerstandes statt, und wenn die Spannung konstant gehalten wird, entspricht nur bei grösseren Spannungswerten ein geringerer Widerstand immer einer grösseren Bogenlänge; bei kleineren Spannungswerten dagegen erreicht bei einem bestimmten kleinen Widerstand die Bogenlänge einen Maximalwert und entspricht ein noch geringerer Widerstand wieder einer kleineren Bogenlänge. Der Widerstandsabfall bei Dochtkohlen trifft zusammen mit der rasch wachsenden Kratertiefe (Fig. 5), so dass wohl darin diese Unregelmässigkeit ihre Erklärung finden wird.

Edlund[1]) hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass der Lichtbogen sich nicht wie ein gewöhnlicher Leiter verhält, bei welchem, da der Querschnitt konstant bleibt, der Widerstand der Länge des Leiters direkt proportional ist. Er schloss aus seinen Versuchen, dass der totale scheinbare Widerstand eines Lichtbogens, nämlich der Quotient aus der Spannungsdifferenz des Lichtbogens und der Stromstärke, durch die Formel $O = a + bL$ ausgedrückt werden kann. Dies veranlasste Edlund anzunehmen, dass in dem Lichtbogen durch die

[1]) Edlund, Pogg. Ann. 1867, **131**, p. 586; 1868, **133**, p. 353; **134**, p. 250 u. 337; 1870, **139**, p. 354.

Digitized by Google

Zerstäubung der Kohlenteilchen eine elektromotorische Gegenkraft hervorgerufen werde, und er berechnete diese elektromotorische Gegenkraft aus dem scheinbaren Widerstand durch Multiplikation mit der jeweiligen Stromstärke. Es ist ja die Spannung V nach dem Ohmschen

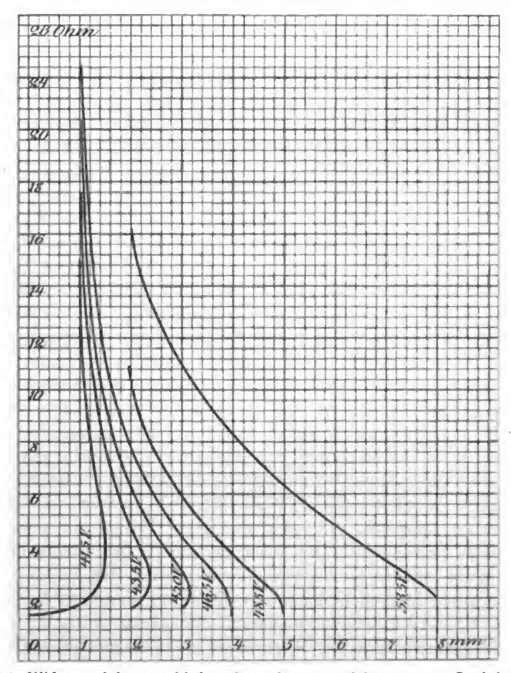


Fig. 17. Widerstand für verschiedene Bogenlängen und Spannungen (Dochtkohlen).

Gesetz gleich dem Produkt aus der Stromstärke A und dem Widerstand O, also wird: $V = AO = aA + bAL$. Da, wie schon oben angegeben, a von der Stromstärke A abhängt und zwar umgekehrt proportional mit derselben ist, kann man nach dem Vorgange von Frölich für aA eine von der Stromstärke unabhängige Konstante m setzen, und für bA kann man die Bezeichnung n wählen und findet so $V = m + nL$.

Digitized by Google

In dieser Formel würde m die von Edlund angenommene gegenelektromotorische Kraft des Lichtbogens bedeuten. Nach Edlund beschäftigten sich zahlreiche Forscher damit, nachzuweisen, ob eine gegenelektromotorische Kraft des Lichtbogens vorhanden oder ob die Gleichung $V = m + nL$ in anderer Weise zu erklären ist, und ferner suchte man die Werte der Konstanten m und n auszumitteln.

Edlund glaubte aus seinen Versuchen auf eine Polarisation des Lichtbogens schliessen zu dürfen, er hatte nämlich $^1/_{80}$ Sekunde nach der Unterbrechung des Betriebsstromes einen Nebenschluss aus den Kohlenelektroden, dem Lichtbogen und einem Galvanometer gebildet und in diesem eine Ablenkung der Galvanometernadel beobachtet. Dieses Resultat wurde auch von Latschinoff[1]) bestätigt; während Luggin[2]) keine Ablenkung erhalten konnte, obwohl die Zeit der Unterbrechung kürzer als bei Edlund war. Man konnte die Beobachtungen von Luggin als nicht ganz beweiskräftig ansehen, da der Lichtbogen rasch seine Leitungsfähigkeit verlieren kann, so dass der gebildete Nebenschluss unterbrochen wird, ehe eine sichtbare Ablenkung der Galvanometernadel eintritt. Diesem Vorwurfe ist ein Versuch von Lecher[3]) nicht ausgesetzt. Die Zeit zwischen Verlöschen des Lichtbogens und Herstellung des Nebenschlusses ist bei dieser Methode unendlich klein, da die zum Betriebe des Lichtbogens dienende Stromquelle vor dem Lichtbogen kurz geschlossen wird. Dass Lecher eine Ablenkung an dem Galvanometer im Nebenschluss nicht fand, hätte man aber immer noch darauf zurückführen können, dass seine Methode zu unempfindlich sei, indem der Widerstand des verlöschenden Lichtbogens zu rasch anwächst. Stenger[4]) weist jedoch nach, dass die Methode genügende Empfindlichkeit besitzt, indem er durch die elektromotorische Kraft von fünf Akkumulatorenzellen, die in den Nebenschluss gelegt waren, eine beträchtliche Ablenkung am Galvanometer trotz Verlöschen des Lichtbogens erhielt; es müsste somit die grössere elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens mindestens eine gleiche Ablenkung geliefert haben, während eine Ablenkung durch die Gegenkraft in keiner Weise zu beobachten war. Einen ganz verschiedenen Weg, um die elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens nachzuweisen, schlug Dub[5]) ein, welcher die Ansicht ausspricht, der

[1]) Latschinoff, La Lumière Electr. 1879, **1**, p. 198.
[2]) Luggin, Wiener Berichte 1889, **98**, p. 1192.
[3]) Lecher, Wiedem. Ann. 1888, **33**, p. 609.
[4]) Stenger, Wiedem. Ann. 1892, **45**, p. 33.
[5]) Dub, Centralbl. d. Elektrotechnik 1888, Nr. 10, p. 749.

Digitized by Google

Strom im Lichtbogen leiste eine so beträchtliche mechanische Arbeit, unter anderem durch das Abreissen von Teilchen der festen Kohlen, dass damit die gegenelektromotorische Kraft zu erklären sei, und findet auch beim Ausblasen von Kohlenstaub zwischen den Elektroden einen dieser Vorstellung entsprechenden Strom.

Auch auf indirektem Wege glaubte man die von Edlund angenommene elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens nachweisen zu können. Insbesondere wurden die Untersuchungen von V. Lang [1]), L. Arons [2]) und Frölich [3]) dahin gedeutet, dass sie nur durch eine elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens erklärt werden könnten; es ergab sich nämlich der aus den gemessenen Spannungsdifferenzen an den Elektroden und der Betriebsstromstärke gerechnete Widerstand grösser als der direkt bestimmte, und man glaubte, es rühre dies davon her, dass die gegenelektromotorische Kraft des Lichtbogens einen scheinbaren Widerstand bedinge. Ausser Edlund selbst waren deshalb auch andere Forscher, so z. B. Arons, Frölich, Vogel [4]), von einer elektromotorischen Gegenkraft des Lichtbogens überzeugt, während Lecher, Uppenborn [5]), Nebel [6]) und Feussner [7]) dagegen auftraten. Es zeigte Feussner, dass nach dem Verfahren von Lang, Arons und Frölich nicht der ganze Widerstand des Lichtbogens, sondern nur ein Bruchteil desselben erhalten werden kann, da der Widerstand des Lichtbogens nicht von der Betriebsstromstärke unabhängig ist, wie es bei Anwendung des Ohmschen Gesetzes notwendig sein muss. Die Versuche von Lecher und Stenger, sowie die Betrachtungen von Feussner sind wohl beweisend, dass eine durch Polarisation bewirkte elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens nicht vorhanden ist; welche Anschauung den vorliegenden Beobachtungen am besten entspricht, soll später, nachdem die verschiedenen Bestimmungen der Werte in der Formel: $V = m + nL$ Erwähnung gefunden, angegeben werden.

Um sofort eine Uebersicht über den Wert der Konstanten m und n zu liefern, soll eine von Sylv. Thompson zusammengestellte Tabelle wiedergegeben werden.

---

[1]) V. von Lang, Centralbl. f. Elektrotechnik 1885, **7**, p. 299, 316, 443; 1886, **8**, p. 173; 1887, **9**, p. 315.

[2]) L. Arons, Wiedem. Ann. 1887, **30**, p. 95.

[3]) Frölich, Elektrotechn. Zeitschr. 1886, p. 433.

[4]) Vogel, Centralbl. f. Elektrotechn. 1887, **9**, p. 189, 216.

[5]) Uppenborn, Centralbl. f. Elektrotechn. 1887, **9**, p. 633.

[6]) Nebel, Centralbl. f. Elektrotechn. 1886, **8**, p. 619.

[7]) Feussner, Centralbl. f. Elektrotechn. 1888, **10**, p. 3.

Digitized by Google

Die Werte der Konstanten m und n sind, wenn man L in Millimeter und V in Volt ausdrückt:

Beobachter	Zeit der Beobachtung	m	n
Ayrton und Perry	1882	63	2,1
Frölich	1883	39	1,8
Peukert	1885	35	1,9
von Lang	1885	39	—
von Lang	1887	37	—
Cross und Shepard	1886	37 bis 39,7	1,9
Luggin	1887	40,04	1,77
Uppenborn	1888	40,1	2,24
Duncan und Rowland	1892	40,6	1,6

Bezüglich dieser Tabelle sind einige Bemerkungen zu machen. Die Angaben von Ayrton und Perry, dass der konstante Teil der Spannung 63 Volt und der zur Bogenlänge proportionale Teil in Volt das 55fache der Länge in englischen Zollen betrage (oder das 21fache in Millimeter), lassen, wie schon Sylv. Thompson hervorhebt, vermuten, dass hier ein Irrtum bezüglich der Zahl 63 vorliegt. Sodann ist zu beachten, dass die Bogenlänge nicht von allen Beobachtern gleichmässig gemessen wurde. Die einen berücksichtigen die Kratertiefe, während die anderen die vertikale Entfernung der Kohlenenden als Bogenlänge bezeichnen. Endlich ist hervorzuheben, dass das Material der Kohle einen Einfluss auf die Grösse des konstanten Teiles der Spannung ausübt; es wird dieselbe durch Beimengungen zur Kohle verschieden und ist anders bei Dochtkohlen wie bei Homogenkohlen. Man darf somit den Mittelwert aus obigen Zahlen, nämlich $V = 39 + 1{,}9\,L$, nur als eine Näherung ansehen, und muss man, um genauere Angaben zu erhalten, auf die Beobachtungen selbst zurückgehen.

Edlund[1]) gibt an, dass der konstante Wert der Spannungsdifferenz am Lichtbogen das 23,3fache der elektromotorischen Kraft eines Bunsenelementes sei; danach ist $m = 42$ Volt, wenn man die elektromotorische Kraft eines Bunsenelementes zu 1,8 Volt rechnet. Ayrton und Perry[2]) geben als Formel der Spannungsdifferenz $V = 63 + 55a - 63 \times 10^{-10a}$, wobei a in englischen Zollen zu verstehen ist. Das letzte Glied ist als unbedeutend in der obigen

[1]) Edlund, Pogg. Ann. 1867, **131**, p. 586.

[2]) Ayrton und Perry, Proc. Phys. Soc. 1882, **4**, p. 197; La Lumière Electr. 1883, **9**, p. 90.

Digitized by Google

Tabelle ganz weggelassen und in dem zweiten die Längeneinheit Millimeter eingesetzt.

Die Hauptresultate Peukerts[1]) sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Für die Stromstärke von

10 Amp.	war der Widerstand	$O = 3{,}66 + 0{,}23\,L$,	also $V = 36{,}6 + 2{,}3\,L$,
15 „	„ „ „	$O = 2{,}30 + 0{,}15\,L$,	„ $V = 34{,}5 + 2{,}25\,L$,
20 „	„ „ „	$O = 1{,}80 + 0{,}08\,L$,	„ $V = 36{,}1 + 1{,}60\,L$,
25 „	„ „ „	$O = 1{,}30 + 0{,}075\,L$,	„ $V = 32{,}5 + 1{,}80\,L$,
30 „	„ „ „	$O = 1{,}60 + 0{,}04\,L$,	„ $V = 48{,}0 + 1{,}20\,L$.

Aus den Beobachtungen von V. von Lang[2]) ist insbesondere der Einfluss des Materiales der Elektroden auf den konstanten Wert der Spannung zu erkennen, es ist nämlich:

Für Kohlen	$V = 35{,}2 + 1{,}32\,L$,	bei 0,4 bis 2,5 mm Bogenlänge und 4 bis 5,4 Amp. Stromstärke,
„ Platin	$V = 27{,}4 + 1{,}49\,L$	bei 0,4 bis 1,7 mm Bogenlänge und 2,5 bis 3,5 Amp. Stromstärke.
„ Eisen	$V = 25{,}0 + 0{,}70\,L$	
„ Nickel	$V = 26{,}2 + 0{,}77\,L$	
„ Kupfer	$V = 23{,}9 + 0{,}67\,L$	
„ Silber	$V = 15{,}2 + 0{,}96\,L$	
„ Zink	$V = 19{,}9 + 0{,}56\,L$	
„ Kadmium	$V = 10{,}3 + 2{,}56\,L$	

Rühlmann gibt aus den Beobachtungen von Cross und Shepard[3]) an, dass:

Für die Stromstärke von

5,04 Amp.	der Widerstand	$O = 7{,}97 + 0{,}41\,L$,	also $V = 40{,}16 + 2{,}06\,L$,
7,00 „	„ „	$O = 5{,}73 + 0{,}21\,L$,	„ $V = 40{,}11 + 1{,}47\,L$,
7,92 „	„ „	$O = 5{,}00 + 0{,}20\,L$,	„ $V = 39{,}60 + 1{,}58\,L$,
10,04 „	„ „	$O = 3{,}73 + 0{,}16\,L$,	„ $V = 37{,}45 + 1{,}61\,L$.

Nebel[4]) gibt folgende Resultate an:

Für die Stromstärken	10 mm Kohlen	12 mm Kohlen	14 mm Kohlen
10 Amp.	—	—	30,7 + 3,6 L,
12 „	V = 39,3 + 2,2 L	35,2 + 2,6 L	32,4 + 2,8 L,
14 „	V = 39,4 + 2,0 L	—	33,8 + 2,3 L,
16 „	V = 39,2 + 2,0 L	35,1 + 1,4 L	34,1 + 2,8 L,
18 „	V = 39,2 + 1,8 L	—	—
20 „	V = —	38,0 + 1,9 L	34,4 + 2,1 L,
24 „	V = —	38,6 + 2,1 L	34,9 + 1,9 L,
28 „	V = —	—	35,3 + 2,0 L,
30 „	V = —	—	35,9 + 1,9 L.

[1]) Peukert, Zeitschr. f. Elektrotechn. **3**, 1885, p. 111.

[2]) von Lang, Centralbl. f. Elektrotechn. 1885, **7**, p. 443; 1887, **9**, p. 315.

[3]) Cross and Shepard, Electric. Revue **19**, p. 298 u. 321.

[4]) Nebel, Centralbl. f. Elektrotechn. 1886, **8**, p. 619.

Digitized by Google

Bei den Beobachtungen von Nebel ist darauf geachtet, dass ein stationärer Zustand in der Form der Kohlenelektroden eingetreten war, ehe mit den Beobachtungen begonnen wurde, was die Vorgänger nicht genügend einhielten, und was dann von H. Ayrton mit noch grösserer Schärfe betont wurde. Die Untersuchungen von Luggin [1]) wurden teils mit Kohlen, teils mit Eisenelektroden ausgeführt. Die von ihm gewonnenen Resultate sind: für Kohlen von 10 mm Durchmesser, und zwar die obere Docht-, die untere Homogenkohle, $V = 40{,}04 + 1{,}77\,L$, wobei die mittlere Stromstärke 7 Amp. betrug. Mit Eisenstäben, jeder von 10 mm Durchmesser, erhielt Luggin $V = 27{,}61 + 1{,}62\,L$ bei 9,3 Amp. und $V = 27{,}35 + 2{,}16\,L$ bei 4,9 Amp. Wurde die positive Eisenelektrode auf 5 mm gebracht, während die negative 10 mm Durchmesser hatte, war $V = 27{,}68 + 2{,}07\,L$ bei 6,8 Amp. und $V = 25{,}99 + 2{,}17\,L$ bei 6,6 Amp. Endlich wenn beide Eisenstifte 5 mm Durchmesser hatten, war $V = 26{,}75 + 2{,}10\,L$ bei 6,4 Amp., $V = 25{,}57 + 2{,}17\,L$ bei 6,7 Amp. und $V = 26{,}93 + 2{,}04\,L$ bei 6,8 Amp. Den Unterschied, den das Material der Kohlenelektroden bedingt, zeigte Uppenborn [2]), indem er für fünf verschiedene Kohlensorten, welche alle Stifte mit einem Durchmesser von 10 mm bildeten und durch einen Strom von 7,7 Amp. betrieben wurden, folgende Zahlen fand:

I. $V = 35{,}4 + 2{,}1\,L$,
II. $V = 39{,}0 + 1{,}74\,L$,
III. $V = 40{,}0 + 2{,}2\,L$,
IV. $V = 41{,}0 + 2{,}16\,L$,
V. $V = 45{,}4 + 1{,}99\,L$.

Ausserdem wies Uppenborn nach, dass die Konstanten m und n von der Stromdichte abhängig seien, indem m mit wachsender Stromdichte zu- und n mit derselben abnimmt; die Resultate sind folgende:

I. Für 1,43 Amp. ist $V = 30{,}9 + 10{,}7\,L$,
" 2,23 " " $V = 30{,}8 + 9{,}56\,L$,
" 2,97 " " $V = 36{,}0 + 7{,}55\,L$,
" 3,71 " " $V = 36{,}6 + 6{,}26\,L$,
" 4,45 " " $V = 41{,}0 + 3{,}15\,L$.

II. Für 1,30 Amp. ist $V = 33{,}0 + 17{,}7\,L$,
" 1,95 " " $V = 32{,}4 + 8{,}73\,L$,
" 2,61 " " $V = 34{,}2 + 4{,}86\,L$,
" 3,25 " " $V = 38{,}1 + 3{,}89\,L$,
" 3,93 " " $V = 39{,}9 + 2{,}96\,L$,
" 4,51 " " $V = 39{,}3 + 3{,}31\,L$,
" 5,24 " " $V = 38{,}0 + 2{,}37\,L$.

[1]) Uppenborn, Centralbl. f. Elektrotechn. 1887, **9**, p. 633.
[2]) Luggin, Centralbl. d. Elektrotechn. 1888, **10**, p. 567.


Digitized by Google

Hiebei hatten die positiven Dochtkohlen 7 mm und die negativen Homogenkohlen 5 mm Durchmesser, während bei einer dritten Beobachtungsreihe die positiven wie negativen Kohlen 30 mm Durchmesser besassen und folgende Werte lieferten:

III. Für 24.0 Amp. ist $V = 26{,}4 + 1{,}88\,L$,
" 32,5 " " $V = 33{,}1 + 1{,}60\,L$,
" 39,4 " " $V = 39{,}1 + 1{,}04\,L$.

Sylv. Thompson[1]) verlässt die bisher benützte Formel $O = m + nL$, und ist der Ansicht, dass die Formel: $V = m + \frac{n}{A} L$ sehr nahe den Zusammenhang zwischen Spannungsdifferenz an den Kohlen, der Bogenlänge und der Betriebsstromstärke liefere; die Konstanten m und n schwanken nach ihm zwischen den Grenzen 35 und 39, beziehungsweise 8 und 18.

Duncan, Rowland und Todd[2]) gehen bei der Aufstellung einer Formel von der Vorstellung aus, dass die Spannungsdifferenz an dem Lichtbogen aus zwei Teilen zusammengesetzt sei: der erste, eine elektromotorische Gegenkraft, rühre von der Verflüchtigung der Kohle her und müsse konstant sein, der andere dagegen sei eine Funktion des Stromes und der Bogenlänge, und sie erhalten danach die allgemeine Gleichung: $V = a + f(L).f(A) + bf'(L).f'(A)$. Zunächst schliessen sie aus ihren Versuchen, es sei $V = a + a' + bL$, wobei, wie schon erwähnt, a die konstante elektromotorische Gegenkraft ist, welche von der Verflüchtigung der Kohle herrührt, sodann a′ eine elektromotorische Gegenkraft, die von der thermoelektrischen Wirkung bedingt wird und mit wachsendem Strom sich vermindert. Die Verminderung von a′ mit steigender Stromstärke werde dadurch hervorgerufen, dass die positive Kohle die Temperatur beibehalte, die negative dagegen sie erhöhe; auch a vermindere sich mit L. Die Forscher unterlassen es, eine Gleichung aufzustellen, welche genau den Zusammenhang zwischen V, L und A wiedergibt, sondern begnügen sich, die Näherungsgleichung $V = a + a' + \frac{bL}{A^{0,7}}$ aufzustellen, welche ihren Beobachtungen am meisten entspricht.

J. Frith[3]) bestimmte mit einer eigentümlichen Wheatstonebrücke

[1]) Sylv. Thompson, The Electrician 1892, **29**, p. 460.

[2]) Duncan, Rowland and Todd, Electr. Engineer of New York 1895, p. 99.

[3]) J. Frith, Memoire and Proc. of the Manchester Lit. and Phil. Soc. 1895, **9**, IV, p. 139.

Digitized by Google

den wahren Widerstand des Lichtbogens, und erhielt für Kohlen von 11 mm Durchmesser und einen Lichtbogen von 2 mm Länge einen

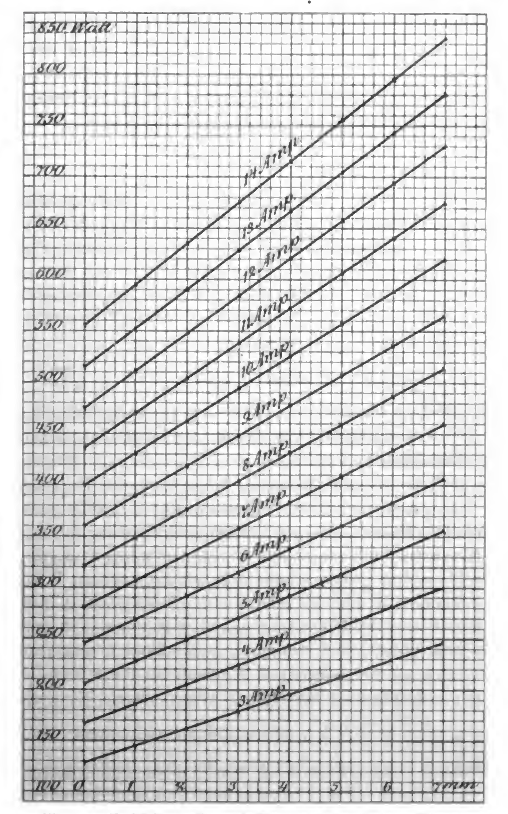


Fig. 18. Elektrische Energie für verschiedene Bogenlängen.

Widerstand des Lichtbogens von nahe 0,6 Ohm und durch gleichzeitige Messung die elektromotorische Gegenkraft des Lichtbogens

Digitized by Google

39 Volt. Die übrigen Resultate, welche Frith nach etwas verschiedenen Methoden erhielt, stimmen mit dem angegebenen überein.

Die Beobachtungen von H. Ayrton zeigen, worauf schon die erwähnten Bemerkungen von Uppenborn über die Werte von m und n hindeuten, dass insbesondere für Dochtkohlen die bisher benützte einfache Formel: $V = m + nL$ nicht mit genügender Schärfe die Beobachtungsresultate wiedergeben kann, dass aber für Homogenkohlen eine alle Beobachtungen sehr gut darstellende Gleichung

$$V = \alpha + \beta h + \frac{\gamma + \delta L}{A}$$

benützt werden kann, in welcher α, β, γ und δ Konstanten und A die Stromstärke in Ampères bedeuten. In dieser Formel ist sowohl die konstante Spannungsdifferenz als die von der Bogenlänge abhängige in einen mit der Stromstärke veränderlichen Teil und in einen davon unabhängigen getrennt, was dadurch gerechtfertigt ist, dass die Stromstärke den Querschnitt des Lichtbogens, die Kraterform und die Abkühlung der Kohlenenden beeinflusst.

Die Ableitung der Formel: $V = \alpha + \beta L + \frac{\gamma + \delta L}{A}$ machte H. Ayrton durch Verwertung der für zwei Homogenkohlen gefundenen und in Fig. 12 dargestellten Beobachtungen. Man kann nämlich aus diesen Beobachtungen die Kurven in Fig. 18 und 19 konstruieren; und zwar sind die ersteren gefunden, indem man die Bogenlängen in Millimeter als Abscissen und die zur Erzeugung des Lichtbogens notwendigen Watt als Ordinaten nimmt, die letzteren Kurven aber dadurch, dass man als Abscissen die Stromstärken und als Ordinaten wieder die Watt aufträgt. In beiden Fällen erhält man gerade Linien. Wählt man unter den Geraden in Fig. 18 die für die Stromstärke 6 Amp. gefundene aus, welche die Ordinatenachse in dem Punkt 245 trifft, und die für die Bogenlänge von 7 mm gezogene Vertikale in dem Punkt 406 schneidet, so kann bei konstanter Stromstärke von 6 Amp. die zur Bildung des Lichtbogens verwendete Wattzahl durch die Gleichung: $W_L = 245 + \frac{406 - 245}{7} L = 245 + 23 L$ gefunden werden, wobei W_L die verbrauchte Energiemenge in Watt für einen Lichtbogen von der Länge L ist. Aus der Fig. 19 findet man sodann für die für einen Bogen von 7 mm notwendige Wattzahl

$$W_7 = 85{,}435 + \frac{833 - 85{,}435}{14} a = 85{,}435 + 53{,}397 A$$

und die für einen Bogen von 0 mm notwendige Wattzahl ist

$$W_0 = 11{,}664 + \frac{556 - 11{,}664}{14} A = 11{,}664 + 38{,}881\,A.$$

Nun ist, wie sofort klar, ganz allgemein die Gleichung giltig:

$$\frac{W_L - W_0}{L} = \frac{W_7 - W_0}{7},$$

und wenn man die Werte von W_L, W_7 und W_0 einsetzt, so wird

$$W_L = 38{,}881\,A + 11{,}664 + (2{,}074\,A + 10{,}54)L.$$

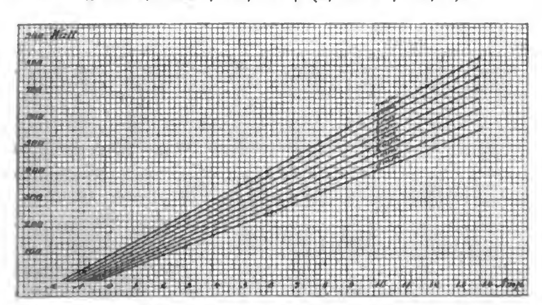


Fig. 19. Elektrische Arbeit für verschiedene Stromstärken.

Da W_L gleich A.V ist, erhält man endlich

$$V = 38{,}88 + 2{,}074\,L + \frac{11{,}66 + 10{,}54\,L}{A},$$

was mit der schon oben angegebenen Gleichung

$$V = \alpha + \beta L + \frac{\gamma + \delta L}{A}$$

übereinstimmt.

Ayrton bemerkt, dass die Gleichung:

$$V = 38{,}88 + 2{,}074\,L + \frac{11{,}66 + 10{,}54\,L}{A}$$

auf folgenden Sätzen aufgebaut ist:

1. Die Kurven, welche den Zusammenhang zwischen aufgewendeter Arbeit und Bogenlänge für verschiedene Stromstärken geben, sind gerade Linien.

2. Die Kurven, welche den Zusammenhang zwischen aufgewen-

Digitized by Google

deter Arbeit und Stromstärke bei verschiedenen Bogenlängen geben, sind gerade Linien.

3. Die geraden Linien, welche den Zusammenhang zwischen aufgewendeter Arbeit und Bogenlänge für konstante Stromstärken geben, schneiden sich in einem Punkte, dessen Koordinaten beide negativ sind.

4. Die geraden Linien, welche den Zusammenhang zwischen aufgewendeter Arbeit und Stromstärke für konstante Bogenlängen geben, schneiden sich in einem Punkte, dessen Koordinaten negativ sind.

Bei obigen Zahlenwerten in der Formel für V sind die Koordinaten des zuletzt erwähnten Punktes: $A = -5{,}08$ und $W = -185{,}92$; ferner die des ersten Punktes $L = -18{,}7$ und $W = -185{,}92$.

Man kann endlich, wie Aryton gleichfalls angibt, die Gleichung:

$$V = \alpha + \beta L + \frac{\gamma + \delta L}{A}$$

in der Form $A\,[V - (\alpha - \beta L)] = \gamma + \delta L$ schreiben, und erkennt daraus, dass sie als Asymptotengleichung einer Hyperbel zu betrachten ist. Es bilden somit die für die Bogenlängen von 1 bis 7 mm gezogenen Kurven, welche den Zusammenhang der Spannungsdifferenzen mit den entsprechenden Betriebsstromstärken geben, eine Schar rechtwinkliger Hyperbeln, bei welchen die horizontale Asymptote jeder Kurve um ein bestimmtes Stück gegen die der vorausgehenden Kurve verschoben ist. In Fig. 20 sind für die Bogenlängen von 1 bis 7 mm die aus der Gleichung:

$$V = 38{,}88 + 2{,}074\,L + \frac{11{,}66 + 10{,}54\,L}{A}$$

sich ergebenden Kurven mit ihren Asymptoten, Achsen und Brennpunkten eingetragen, und erkennt man durch Vergleichung der Fig. 20 mit Fig. 12 den vollkommen gleichen Verlauf der Kurven, von welchen die in Fig. 12 aus den direkt beobachteten, und die in Fig. 20 aus den nach der Formel:

$$V = 38{,}88 + 2{,}074\,L + \frac{11{,}66 + 10{,}54\,L}{A}$$

gerechneten Werten gezeichnet sind. H. Ayrton unternimmt es ausserdem noch, nachzuweisen, dass die aufgestellte Formel nicht allein die eigenen Versuche sehr gut wiedergebe, sondern auch die an Homogenkohlen von anderen Beobachtern gefundenen Werte meist besser darstelle, als die von diesen selbst aufgestellten Formeln.

Edlunds Beobachtungen [1]) liessen ihn schliessen, dass $O = a + b\,L$

[1]) Edlund, Pogg. Ann. 1867, **131**, p. 586.

Digitized by Google

sei, und dass dabei a und b mit wachsendem Strom sich vermindern und a umgekehrt mit dem Strom sich ändere. Die Formel Ayrtons liefert $O = \frac{38,88 + 2,074\,L}{A} + \frac{11,66 + 10,54\,L}{A^2}$, so dass $a = \frac{38,88}{A} + \frac{11,66}{A^2}$ und $b = \frac{2,074}{A} + \frac{10,54}{A^2}$ wird; da nun für grössere Werte von A, $\frac{11,66}{A^2}$ gegen $\frac{38,88}{A}$ klein ist, kann die Folgerung Edlunds, dass $aA =$ konstant sei, auch nach Ayrtons Formel

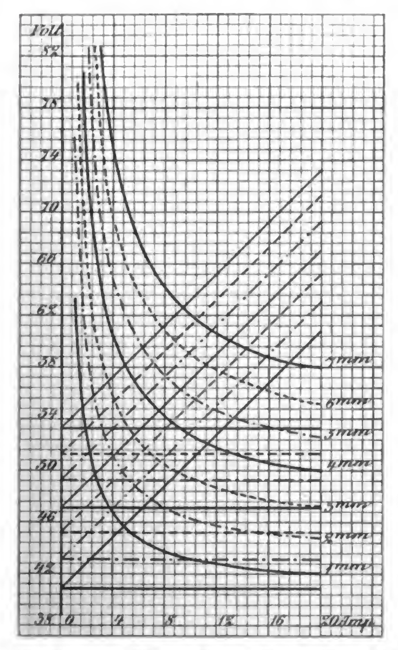


Fig. 20. Spannungsdifferenz für verschiedene Stromstärken.

als Näherung betrachtet werden; die wirklich beobachteten Zahlen von Edlund zeigen, dass die bei jeder Beobachtungsreihe gebildeten Pro-

Digitized by Google

dukte aA nahe konstant bleiben, dass jedoch die in einer Reihe auftretenden Unterschiede immer mit Ausnahme eines einzigen Wertes in der Richtung sind, wie es die Formel Ayrtons $\left(aA = 38{,}88 + \frac{11{,}66}{A}\right)$ verlangt. Es kann dies aus der kleinen Tabelle ersehen werden, welche die Beobachtungen Edlunds enthält, wobei jedoch zu beachten ist, dass nicht direkt die Stromstärken bestimmt sind, sondern nur relative Werte.

Zahlen proportional der Stromstärke A	Zahlen proportional dem Produkt a A	Nr. der Beob.-Reihen
1,2387	0,3239	1
1,0176	0,3416	
0,6661	0,3336	
1,1139	6,69	2
0,9435	6,877	
0.9618	6,34	3
0,7738	6,48	
1,3270	4,45	4
0,9827	5,21	

Frölich[1]) hatte aus seinen Beobachtungen die Formel $V = 39 + 1{,}8\ L$ abgeleitet; es zeigt jedoch Ayrton, dass die von Frölich für eine konstante Bogenlänge von 2 mm gefundenen Werte der Spannungsdifferenzen bei verschiedenen Stromstärken der nach Ayrton gebildeten Formel $V = 40{,}25 + \frac{68{,}25}{A}$ mehr entsprechen als der Frölichschen $V = 42{,}6$ Volt; denn es ist:

Strom in Ampère	Spannungsdifferenz in Volt			Differenz zw. Beobachtung und Berechnung nach	
	beobachtet	berechnet nach d. Formel von Ayrton	v. Frölich	Ayrton	Frölich
27,4	42,7	42,75	42,6	− 0,05	+ 0,1
11,6	46,3	46,13	42,6	+ 0,17	+ 3,7
8,39	50,1	48,38	42,6	+ 1,72	+ 7,5
7,67	47,1	49,15	42,6	− 2,05	+ 4,5
6,92	50,1	50,11	42,6	− 0,01	+ 7,5

Auch die Beobachtungen von Peukert[2]) sind zu verwenden, um die Spannungsdifferenz entsprechend der Ayrtonschen Formel und durch Division mit A den scheinbaren Widerstand des Licht-

[1]) Frölich, Elektrotechn. Zeitschr. 4. 1893, p. 150.
[2]) Peukert, Zeitschr. f. Elektrotechn. 1885, 3. p. 111.

Digitized by Google

bogens durch $O = \frac{30 + 1,622\,L}{A} + \frac{66 + 6,342\,L}{A^2}$ auszudrücken. Die so gerechneten Werte stimmen mit den von Peukert aufgestellten Gleichungen (siehe S. 28) für den scheinbaren Widerstand fast vollständig überein; es ist

Strom in Ampères	Nach Peukerts Gleichung	Nach Ayrtons Formel
10	$O = 3,66 + 0,23\,L$	$O = 3,66 + 0,23\,L$
15	$O = 2,30 + 0,15\,L$	$O = 2,29 + 0,14\,L$
20	$O = 1,80 + 0,08\,L$	$O = 1,67 + 0,096\,L$
25	$O = 1,3 + 0,075\,L$	$O = 1,31 + 0,075\,L$
30	$O = 1,6 + 0,04\,L$	$O = 1,07 + 0,059\,L$

Aus den Versuchen von Cross und Shepard ist die Formel $O = \frac{37 + 1,1\,L}{A} + \frac{14,8 + 7,88\,L}{A^2}$ abzuleiten, was mit den Beobachtungen gut übereinstimmt.

Strom in Ampères	Aus den Beobachtungen	Aus Ayrtons Formel
5,04	$O = 7,925 + 0,525\,L$	$O = 7,923 + 0,528\,L$
7,00	$O = 5,57 + 0,277\,L$	$O = 5,59 + 0,317\,L$
7,92	$O = 4,94 + 0,259\,L$	$O = 4,91 + 0,264\,L$
10,04	$O = 3,77 + 0,188\,L$	$O = 3,83 + 0,187\,L$

Während die Beobachtungen von Peukert sowie von Cross und Shepard[1]) den vier Sätzen, auf welchen die Ayrtonsche Formel aufgebaut ist, vollkommen entsprechen, kann die von Sylv. Thompson[2]) angegebene Gleichung $W = m\,A + n\,L$ mit der Form der Ayrtonschen Gleichung $W = (\alpha + \beta\,L)\,A + \gamma + \delta\,L$ nicht in Uebereinstimmung gebracht werden. Nicht ausreichend sind auch die Versuche von Duncan, Rowland und Todd[3]) zum Nachweis der Richtigkeit aller vier erwähnten, von Ayrton aufgestellten Sätze, da einerseits nur Beobachtungen mit einer Bogenlänge, und ferner nur solche mit Dochtkohlen zur Prüfung verwendet werden können. Unter Anwendung der Ayrtonschen Formel erhält man $V = 40,6 + \frac{84,17}{A}$, was mit den Beobachtungen gut übereinstimmt.

[1]) Cross and Shepard, Proc. of the Americ. Acad. of Sciences 1886, p. 227.

[2]) Sylv. Thompson, The Electrician **29**, 1892, p. 460.

[3]) Duncan, Rowland and Todd, Electrical Engineer of New York 1893, p. 99.

Digitized by Google

Strom in Ampères	Spannungsdifferenz in Volt aus den Beobachtungen	aus der Rechnung
3,1	65,0	67,8
4,6	58,5	58,9
6,15	54,8	54,3
7,7	52,5	51,5
8,0	52,0	51,1
9,82	49,2	49,2
11,26	47,5	48,1
12,75	46,5	47,2

Nach den zuletzt angeführten Zusammenstellungen folgert Ayrton mit Recht, dass die Formel von der Form

$$V = \alpha + \beta L + \frac{\gamma + \delta L}{A}$$

mit genügender Genauigkeit nicht allein den eigenen Beobachtungen, sondern auch allen vorliegenden Resultaten von andern Beobachtern Genüge leistet.

Um die Bedeutung des konstanten, von der Bogenlänge unabhängigen Teiles der Spannungsdifferenz am Lichtbogen genauer zu erforschen, wurde über den Sitz dieser sogenannten elektromorischen Gegenkraft und über den Einfluss der umgebenden Gase eine Reihe von Beobachtungen ausgeführt. Zuerst soll die Frage beantwortet werden: an welcher Stelle findet der Spannungsabfall von nahe 30 Volt statt, ist er an der positiven Kohle, an der negativen Kohle oder ist er über den Lichtbogen gleichmässig verteilt?

In ausführlicher Weise berichtet H. Luggin[1]) über Beobachtungen, welche den Spannungsabfall V_1 vom positiven Krater zum Lichtbogen und den Abfall V_2 von dem Lichtbogen zur negativen Kohle in Volt nachweisen. Er erhielt:

Für reine Kohlenstifte bei 6,8 Amp.			Für Kohlenstifte mit Soda getränkt, bei 8,9 Amp.			L in mm
V_1	V_2	$V = V_1 + V_2$	V_1	V_2	$V = V_1 + V_2$	
25,9	13,9	39,8	0,43	17,47	17,90	2,9
27,1	15,4	42,5	1,76	17,64	19,40	3,0
26,9	19,4	46,3	0,69	19,31	20,00	3,9
32,2	16,5	48,7	3,77	17,63	21,40	4,0
31,0	18,3	49,3	2,89	19,71	22,60	5,0
33,3	18,4	51,7	7,00	21,00	28,00	6,8
32,9	19,8	52,7				
34,6	23,1	57,7				

[1]) Luggin, Centralbl. f. Elektrotechn. 1888. p. 567.

Digitized by Google

Aehnliche Beobachtungen sind von Lecher[1]), Uppenborn[2]) [$V_1 = 32{,}5$; $V_2 = 5{,}5$ Volt], Fleming[3]), Ayrton[4]) und S. Thompson[5]) gemacht worden. Letzterer gibt an, dass am Krater ein starker Spannungsabfall von etwa 39 Volt, sodann im Lichtbogen

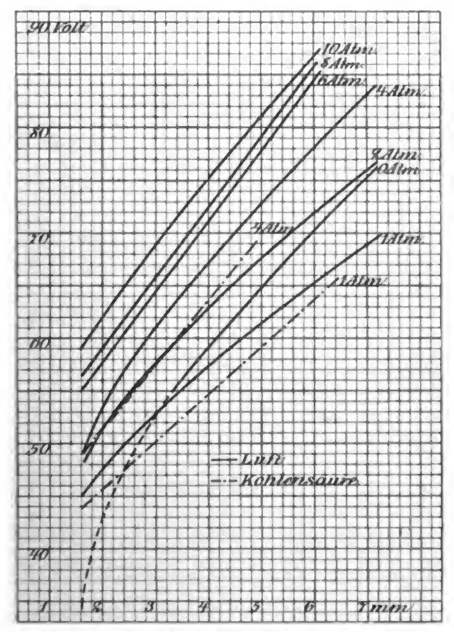


Fig. 21. Spannungsdifferenz für verschiedene Bogenlängen.

selbst ein über die ganze Länge des Bogens gleichmässiger Abfall von 2 bis 3 Volt und endlich ein kleinerer Abfall von etwa 2 bis 3 Volt an der negativen Kohle stattfinde. S. Thompson fand in

1) Lecher, Centralbl. f. Elektrotechn. 1888, **10**, p. 47.

2) Uppenborn, Centralbl. f. Elektrotechn. 1888, **10**, p. 102.

3) Fleming, Elektrische Lampen und elektrische Beleuchtung p. 155.

4) Ayrton a. a. O.

5) S. Thompson a. a. O.

Digitized by Google

einem Falle bei zischendem Bogen an der negativen Kohle eine geringe Zunahme der Spannung; auch andere Beobachter haben an der negativen Elektrode eine Spannungszunahme gefunden, nämlich Sahulka [1]) und Fleming [2]).

Bezüglich der Einwirkung der den Lichtbogen umgebenden Gase hat S. Thompson [3]) einige Versuche gemacht, bei welchen der Lichtbogen im Chlorgas, Leuchtgas, Wasserstoff, Stickstoff und anderen Gasen brannte; er fand, dass der konstante Teil der Spannungs-

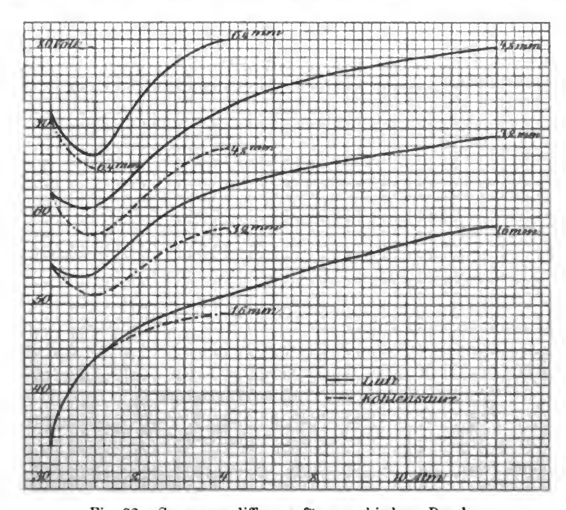


Fig. 22. Spannungsdifferenz für verschiedene Drucke.

differenz in keiner Weise verändert wurde. Die umfassendsten Versuche hierüber sind jedoch von Duncan, Rowland und Todd [4]) angestellt worden. In den Fig. 21 und 22 sind die Resultate dieser Beobachtungen eingetragen; erstere gibt die Spannungsdifferenz

[1]) Sahulka, Zeitschr. f. Elektrotechn. 1884.

[2]) Fleming, Elektrische Lampen und elektrische Beleuchtung p. 155.

[3]) S. Thompson, Electrician **29**, p. 460.

[4]) Duncan, Rowland and Todd, Electrician **31**, p. 360; Centralbl. f. Elektrotechn. 1888. **10**, p. 47.

Digitized by Google

des Lichtbogens bei verschiedenen Bogenlängen, und zwar für verschiedenen Druck der umgebenden Luft oder Kohlensäure und für luftleeren Raum, die zweite unterscheidet sich von der vorausgehenden Figur dadurch, dass hier auf der Abscisse nicht die Bogenlängen, sondern die Drucke in Atmosphären aufgetragen sind. Aus Fig. 21 ist zu erkennen, dass der konstante Teil der Spannungsdifferenz mit höherem Druck der Luft immer mehr steigt; das Gleiche findet auch bei steigendem Druck der Kohlensäure statt. Der mit der Bogenlänge veränderliche Teil ist nicht wesentlich verschieden, wie daraus zu erkennen ist, dass die Neigungen aller für die verschiedenen Drucke giltigen Geraden wenig verschieden sind, nur in geringem Masse nimmt die Neigung bei einer Drucksteigerung von 1 bis 10 Atm. zu. Unregelmässig wird diese Aenderung unter dem Drucke einer Atmosphäre, indem für geringeren Druck die Neigung ebenfalls wächst; dies ist genauer aus Fig. 22 zu erkennen. Bei Bogenlängen über 3 mm nimmt nämlich die Spannungsdifferenz, die bei grösseren Drucken über 1 Atm. allmählich abgenommen hatte, bei geringeren Drucken als 1 Atm. wieder rasch zu, während bei einer Bogenlänge von 1,6 mm auch bei Drucken unter 1 Atm. eine Abnahme der Spannungsdifferenz, und zwar eine sehr beträchtliche Abnahme, eintritt.

Es lässt sich nun auf Grund der im vorausgehenden angegebenen Beobachtungsresultate wenigstens teilweise eine Erklärung der zur Bildung eines Lichtbogens notwendigen Spannungsdifferenz geben. Diese Spannungsdifferenz besteht sicher aus zwei Hauptteilen, nämlich dem von der Bogenlänge unabhängigen und dem von derselben abhängigen Teil. Der erste sogenannte konstante Teil wurde, wie schon erwähnt, anfänglich nach dem Vorgange von Edlund als durch Polarisation an den Elektroden bedingt angesehen; dem widersprechen die direkten Versuche, welche eine solche Polarisation nicht nachweisen liessen. Dass eine thermoelektrische oder chemische Gegenkraft an den Elektroden auftrete, weist Feussner zurück, indem er hervorhebt, dass erstere nur dann auftreten kann, wenn die Elektroden von verschiedenem Material sind; man könnte nur annehmen, dass die beiden Elektroden beim Gleichstrom einen verschiedenen physikalischen Zustand annehmen, doch wäre dies bei Wechselströmen wohl nicht der Fall. Wenn chemische Kräfte thätig sind, so müssten die Produkte sich finden lassen, welche bei ihrer Bildung die erwähnte Spannungsdifferenz verbrauchen; es sind solche jedoch nicht bekannt. Im Gegensatze zu der Anschauung von Edlund hat schon Schwendler nicht eine elektromotorische Gegenkraft, sondern einen Uebergangs-

Digitized by Google

widerstand angenommen, der nicht wie ein gewöhnlicher Widerstand konstant, sondern mit der Stromstärke veränderlich ist. Es ist klar, dass, wenn der Widerstand bei doppelter Betriebsstromstärke auf die Hälfte zurückgeht, man dieselbe Spannung braucht, wenn die doppelte Stromstärke jenen Widerstand durchläuft wie bei Verwendung des einfachen Stromes. Da nun als Sitz dieser elektromotorischen Gegenkraft oder dieses Uebergangswiderstands der Krater erkannt wurde, war es natürlich, einen dort stattfindenden Vorgang als Grund des Spannungsabfalles aufzusuchen. v. Lang, welcher den Spannungsverlust für verschiedene Elektroden feststellte, machte darauf aufmerksam, dass eine Uebereinstimmung zwischen Schmelzpunkt des Materiales und der dabei auftretenden Gegenkraft vorliege; nur das Silber stimme schlecht damit, da es seinem Schmelzpunkt zufolge eine viel höhere elektromotorische Kraft des Lichtbogens zeigen sollte. Nach Feussner erfolgt der Uebergangswiderstand durch die Verdampfung des Elektrodenmaterials an dem Krater und muss deshalb um so höher sein, je höher die Verdampfungstemperatur ist, was durch die Beobachtungen an verschiedenen Metallen sowie an Homogen- und Dochtkohlen und ferner an mit Salzen getränkten Kohlen bestätigt wird. Vollkommen dieser Ansicht entsprechend ist auch, dass bei höherem Druck des den Lichtbogen umgebenden Gases eine Erhöhung der konstanten Spannungsdifferenz eintritt, da bei höherem Druck die Verdampfungstemperatur zunehmen muss. Mag man nun die Ursache des Spannungsabfalles an dem Krater als elektromotorische Gegenkraft oder als Uebergangswiderstand betrachten, so wird man immer als nächsten Grund die hier stattfindende Verdampfung betrachten müssen, und es wird, der Verdampfungstemperatur der Elektroden entsprechend, jener Spannungsverlust ($V_1 = m$) am Krater sein. Der zweite von der Bogenlänge abhängige Teil der Spannungsdifferenz wird durch die dampfförmigen Bestandteile des Lichtbogens weggenommen und würde, wenn der Lichtbogen sich wie ein fester Leiter verhielte, aus dem Widerstande $Q = \alpha \frac{L}{Q}$ sich berechnen lassen, wobei α der spezifische Widerstand des Lichtbogens, Q sein mittlerer Querschnitt und L seine Länge bedeutet. Es wäre dann jene Spannungsdifferenz $V_2 = O\,A = \alpha \frac{L}{Q} A$, wobei die Stromstärke mit A bezeichnet ist; doch ist der mittlere Querschnitt des Lichtbogens sicher nicht von der Stromstärke unabhängig, sondern er wird mit der Stromstärke wachsen. Setzt man voraus, dass der mittlere

Digitized by Google

Querschnitt der Stromstärke proportional sei, und führt den für 1 Amp. giltigen Querschnitt Q_1 des Lichtbogens ein, so wird $V_2 = \alpha \frac{L}{Q_1}$, und wenn man endlich den Quotienten der beiden Konstanten α und A_1, also $\frac{\alpha}{Q_1}$ mit n, bezeichnet, so findet man $V = V_1 + V_2 = m + nL$.

Vollständig zutreffend kann die eben abgeleitete und von den meisten Beobachtern als nahe richtig gefundene Gleichung nicht sein, weil die im vorausgehenden gemachten Annahmen nicht ganz richtig sind. Es sei nur erwähnt, dass die Ausstrahlungs- und Wärmeleitungsverhältnisse Aenderungen hinsichtlich der Grösse n bedingen müssen, indem eine grössere oder geringere Energie zur Deckung dieses wechselnden Verbrauches Verwendung findet. Ferner sind die Verhältnisse im Lichtbogen nicht so einfach, dass der mittlere Querschnitt genau der Stromstärke proportional ist, und dürfte auch die mittlere Bogenlänge nicht als vollkommen unabhängig von der Stromstärke zu betrachten sein. Dass solche Unterschiede gegen die Formel $V = m + nL$ nachweisbar sind, zeigen die Angaben von Uppenborn und anderen, dass m und n von der Stromstärke nicht unabhängig sind, und die aus den genauen Untersuchungen Ayrtons abgeleitete, für Homogenkohle giltige Formel $V = \alpha + \beta L + \frac{\gamma + \delta L}{A}$.

b) Der zischende Lichtbogen.

Unter gewissen Umständen lässt der Lichtbogen einen zischenden Ton hören; ohne vorerst anzugeben, wann das Zischen eintritt, sollen einige Eigenschaften desselben aufgezählt werden. Cross und Shepard[1]) geben an, dass für den zischenden Bogen dieselbe Gleichung $V = m + nL$ bestehe wie für den ruhigen, dass aber der Wert von m für den zischenden Bogen nur 15 Volt betrage, während er für den ruhigen gleich 39 Volt sei; sie finden nämlich für zischende Lichtbogen:

bei 3,27	Amp.	$V = 15,37 + 12,71\,L$
„ 5,03	„	$V = 15,79 + 9,96\,L$
„ 7,00	„	$V = 14,70 + 8,61\,L$
„ 7,95	„	$V = 14,39 + 7,95\,L$
„ 10,03	„	$V = 14,64 + 5,51\,L$

Auch Niaudet[2]) sagt, dass die Spannungsdifferenz zwischen

[1]) Cross and Shepard, Proc. Americ. Acad. 1886, p. 227.

[2]) Niaudet, La Lumière Electr. 3, p. 287.

Digitized by Google

den Kohlenelektroden viel grösser sei bei ruhigem Lichtbogen, wie wenn er zischt, und gibt folgende Zahlen an:

Ruhiger	Lichtbogen	zeigte	54,3	Volt	bei	34 Amp.
Zischender	„	„	43,0	„	„	36 „
Ruhiger	„	„	49,0	„	„	34 „
Zischender	„	„	41,0	„	„	43 „
Ruhiger	„	„	49,0	„	„	38 „

Luggin [1]) erwähnt, dass Kohlenstifte von 10 mm Durchmesser bei 7 Amp. eine konstante Spannungsdifferenz von 40,04 Volt für ruhigen Bogen und 34,9 Volt für zischenden Lichtbogen erfordern.

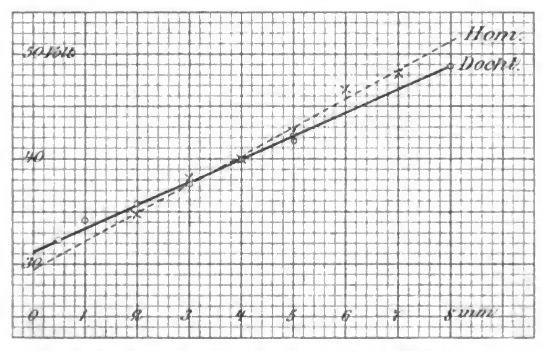


Fig. 23. Spannungsdifferenz für verschiedene Bogenlängen.

Die genauesten Angaben über den zischenden Lichtbogen lieferte wieder H. Ayrton. Die Fig. 9 und 12 lassen sowohl für Docht- wie Homogenkohlen nachweisen, dass bei zischendem Lichtbogen für gleichbleibende Bogenlänge auch die Spannungsdifferenz eine konstante ist, während diese für ruhige Lichtbogen sich mit der Stromstärke ändert. Aus den Fig. 11 und 13 und noch übersichtlicher in Fig. 23 ist zu erkennen, dass bei Homogen- und bei Dochtkohlen die Spannungsdifferenz mit der Bogenlänge zunimmt; bei Homogenkohlen scheint diese Zunahme mit der Bogenlänge etwas grösser als bei Dochtkohlen; die gezogenen Geraden entsprechen den Formeln für

$$\text{Homogenkohlen: } V = 29{,}4 + 2{,}74\ L,$$

und für

$$\text{Dochtkohlen: } V = 31{,}2 + 2{,}23\ L.$$

[1]) Luggin, Electrician **26**, p. 565.

Digitized by Google

Der scheinbare Widerstand des Lichtbogens nähert sich dann, wenn der Zischpunkt eintritt, einem bestimmten konstanten Werte, der jedoch von dem Durchmesser der Kohlen abhängt; denn es ist bei Verwendung einer positiven Dochtkohle von 9 mm Durchmesser und einer negativen Homogenkohle von 8 mm Dnrchmesser die Grenze des scheinbaren Widerstandes 1,6 Ohm, während diese bei Benützung einer homogenen Dochtkohle von 18 mm und einer negativen Homogenkohle von 15 mm Durchmesser auf 2,6 Ohm steigt. Für jedes Kohlenpaar ist demnach im Moment, wenn das Zischen beginnt, der scheinbare Widerstand konstant und unabhängig von der Bogenlänge, dagegen für Kohlen von grösserem Querschnitt grösser; dann, wenn das Zischen eingetreten, nimmt bei gleicher Bogenlänge der scheinbare Widerstand mit wachsender Stromstärke ab.

In den Fig. 9 und 12 sind die Kurven des ruhigen Lichtbogens und die geraden Linien, welche für zischende Lichtbogen erhalten wurden, durch punktierte Linien verbunden; es geben dieselben nur an, welche Kurven zusammengehören, sie sollen aber nicht den jeweiligen Zusammenhang zwischen Stromstärke und Spannungsdifferenz für die betreffende Bogenlänge liefern. Es kann nämlich innerhalb jener Grenzen kein Strom mit konstanter Spannungsdifferenz durch den Bogen gehen. Z. B. bei einem 4 mm-Bogen (Fig. 9) ist zwischen 19,6 und 24,2 Amp. weder ein ruhiger noch ein zischender Bogen zu erhalten. Wenn man in diesem Fall von 19,6 Amp. die Stromstärke allmählich steigen lässt bis 24,2 Amp., so wird der Zustand ein unsteter bleiben; es erreicht die Spannungsdifferenz bald den Wert 40 Volt, bald den von 48 Volt, so dass der Lichtbogen bald zischend, bald ruhig ist. Beinahe unmöglich ist es, den Zischpunkt mit einiger Sicherheit zu bestimmen, da die geringste Aenderung in der Form der Kohlen, der Bogenlänge und Stromstärke den vorher ruhigen Lichtbogen zu zischen veranlasst oder einen zischenden Bogen plötzlich still machen kann. Die grösste Stromstärke, welche einen ruhigen Bogen von gegebener Länge bilden kann, wächst mit dem Querschnitt der Kohlen. Z. B. ist bei 2 mm Bogenlänge für Kohlen von 18 bezw. 15 mm Durchmesser etwa 48 Amp. und für Kohlen von 9 bezw. 8 mm Durchmesser etwa 16 Amp.; geringere Stromstärke zur Erreichung des Zischpunktes ist bei zwei Homogenkohlen notwendiger als bei Dochtkohlen, und endlich nimmt jene Stromstärke bei einem Kohlenpaar mit der Bogenlänge zu.

H. Ayrton unterscheidet verschiedene von dem Lichtbogen hervorgerufene Töne, nämlich ein Siedegeräusch, das bei kleinem Strom

Digitized by Google

und langem Bogen ohne einen Spannungsabfall eintritt, ferner das eigentümliche Zischen, das mit einem Spannungsabfall verbunden ist, und endlich vor Eintritt des Zischens ein Sausen wie von einem Wind. S. Thompson vergleicht den ruhigen und zischenden Lichtbogen mit dem ruhigen und geräuschvollen Verdampfen von Wasser. Das Verdampfen von Wasser wird geräuschvoll, wenn mehr Wärme zugeführt wird, als an der Oberfläche durch Verdampfung abgegeben wird; es bilden sich dann im Innern des Wassers Blasen, welche die Oberfläche durchdringen. Aehnlich könnte dies beim zischenden Bogen sein. Die eigentümlichen Lichterscheinungen, welche bei einem zischenden Lichtbogen auftreten, sowie die Form der Kráteroberfläche, welche von H. Ayrton beobachtet wurde, sollen hier nur erwähnt werden. Der dem Sausen des Windes zu vergleichende Ton des zischenden Bogens ist von einem intensiv hellgrünen Licht, das von den Kanten des Kraters ausgeht, begleitet, und die Krateroberfläche erscheint wie mit Honigwaben überdeckt.

3. Die Lichtausstrahlung des Lichtbogens.

Zuerst hat Allard[1]) auf die eigentümliche Lichtausstrahlung von Bogenlicht aufmerksam gemacht; durch eine Reihe von Messungen wies er nach, dass die nach verschiedenen Richtungen vom Bogenlicht ausgesendete Lichtintensität sehr verschieden ist. Hieran schlossen sich zahlreiche ähnliche Beobachtungen; es seien nur erwähnt Fontaine[2]), Allard[3]), S. Sautter, Lemoinier u. Co. in Paris[4]), Militäringenieurschule zu Chatam[5]) (1879 und 1880), Jury der Pariser Elektricitätsausstellung[6]) und Ausstellungskommission bei der Münchner[7]), Wiener[8]) und Frankfurter[9]) elektrischen Ausstellung.

Trotter[10]) spricht die Ansicht aus, die Lichtausstrahlung eines Bogenlichtes sei im allgemeinen so, wie wenn das Licht von einer gleichförmig glühenden Ebene ausgehe, die durch die Kante der krater-

[1]) Allard, Mémoire sur l'intensité et la portée des Phares. Paris 1876.

[2]) Fontaine, Eclairage a l'Électricité, II. Edition. Paris 1879.

[3]) Allard, Mémoire sur les Phares electriques. Paris 1881.

[4]) S. Sautter, Lemoinier u. Co. Apparails photo-electr. employ par les Marines. Paris 1881.

[5]) Elektrotechn. Zeitschr 1882, **2**, p. 105.

[6]) La Lumière elect. 1882, Nr. 46.

[7]) Officieller Bericht über d. intern. Elektr.-Ausstellung. München 1882.

[8]) Officieller Bericht über d. intern. Elektr.-Ausstellung. Wien 1884.

[9]) Officieller Bericht über d. intern. Elect.-Ausstellung. Frankfurt a.M. 1891.

[10]) Trotter, Elektrot. Zeitschr. 1892, **32**, p. 433.

Digitized by Google

förmigen positiven Kohle gelegt und durch die kreisförmige Kante des Kraters begrenzt ist. Unter dieser Voraussetzung würde die in irgend einer Richtung ausgesendete Lichtmenge proportional der in dieser Richtung sichtbaren Fläche jener glühenden Ebene, also proportional dem Kosinus der Neigung jener Richtung gegen die Normale der lichtaussendenden Fläche. Trägt man diese dem Kosinus der Neigung proportionalen Grössen von einem als Ausgangspunkt des Lichtes anzusehenden Punkte als Polarkoordinaten auf, so erhält man den in Fig. 24 eingetragenen punktierten Kreisbogen, wenn man die Endpunkte jener Koordinaten miteinander verbindet. Sobald man wirklich ausgeführte Beobachtungen über die Lichtverteilung von Bogenlicht mit der aus der Ansicht Trotters gefolgerten Verteilung vergleicht, erkennt man,

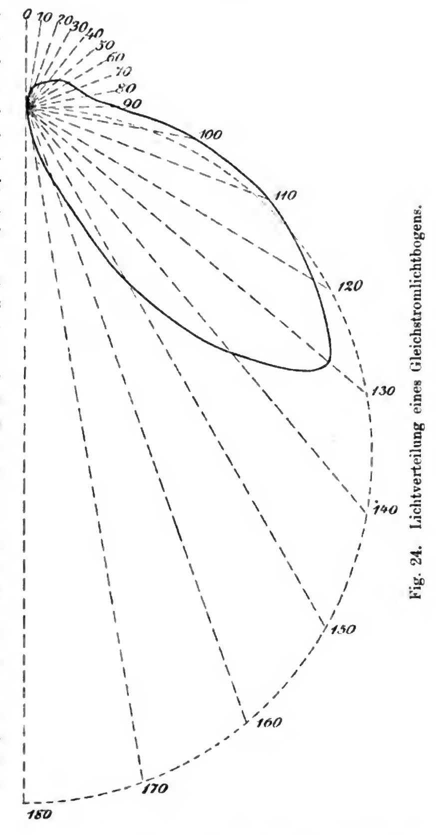


Fig. 24. Lichtverteilung eines Gleichstromlichtbogens.

dass nur eine sehr oberflächliche Aehnlichkeit vorliegt. Aus einer grossen Anzahl von beobachteten Polarkurven ist eine typische Form

der Lichtverteilung abgeleitet und die Resultate in Fig. 24 eingetragen; die ausgezogene Kurve liefert die aus zahlreichen Beobachtungen am Bogenlicht von Wybauw (Antwerpen 1885) gerechneten Mittelwerte:

20°	0 NK.	60°	120 NK.	100°	420 NK.	140°	800 NK.
30°	70 „	70°	140 „	110°	650 „	150°	500 „
40°	85 „	80°	160 „	120°	850 „	160°	180 „
50°	105 „	90°	230 „	130°	1000 „	170°	50 „

Man sieht sofort, dass diese Kurve sich wesentlich von der punktierten Kreislinie unterscheidet. Dieser Unterschied ist leicht erklärlich, da die Voraussetzungen, welche Trotter machte, nicht erfüllt sind. Vor allem erkennt man, dass ein grosser Teil des von der positiven Kohle ausgesendeten Lichtes von der negativen Kohle weggenommen wird; es ist deshalb in Fig. 24 etwa von 135° aus gegen 180° hin eine rasche Abnahme des Lichtes auftretend. Der Winkel, unter welchem die Schattenwirkung der negativen Kohle sich bemerklich macht, ist natürlich von dem Abstand der beiden Kohlen abhängig; bei grösserer Bogenlänge ist die Schattenwirkung geringer. Ein weiterer Umstand ist zu beachten, dass nämlich nicht alles Licht von der positiven Kohle ausgesendet wird; als Mittelwert kann man annehmen, dass 85% der gesamten vom Bogenlicht ausgestrahlten Lichtmenge von der positiven, 10% von der negativen Kohle und 5% von dem Lichtbogen selbst ausgehen. Dadurch ist zu erklären, dass in dem über der Horizontalen liegenden Quadranten von 0 bis 90° ebenfalls noch Licht erscheint, das etwa unter 50° hauptsächlich von der negativen Kohle und unter 90° von dem Lichtbogen und teilweise noch von der negativen Kohle ausgeht. Es ist ferner fraglich, ob man das von der Kraterfläche ausgehende Licht als von einer gleichmässig leuchtenden Fläche ausstrahlend annehmen kann. In Finsbury Technical College wurde die in einer Richtung vom Krater sichtbare Fläche gemessen und gleichzeitig die in dieser Richtung ausgestrahlte Lichtintensität photometrisch bestimmt; es ergab sich, dass die Verhältnisse der Lichtintensitäten sehr nahe übereinstimmten mit den Verhältnissen der sichtbaren Kraterflächen. Danach ist wohl klar, dass die Kraterfläche als sehr gleichmässig leuchtend angesehen werden muss. Um hierüber genaueren Aufschluss zu erhalten, können die Beobachtungen über die Temperaturen des Lichtbogens herangezogen werden.

Man versuchte zuerst, die Temperatur an der positiven und der negativen Kohle direkt zu bestimmen. Becquerel hatte schon 1860

[1]) Becquerel, La Lumière Electr. 1881. p. 220.

Digitized by Google

die Temperatur des von 80 Bunsenelementen erzeugten Lichtbogens zu 2070 bis 2100° C. ausgemittelt. Mit etwas grösserer Genauigkeit kommt Rosetti[1]) zu dem Schluss, dass die Temperatur des Kraters etwa bei 3900° C. und die der negativen Spitze bei 3150° C. liege, und dass ferner der Lichtbogen selbst eine höhere Temperatur, nämlich 4000° C., haben müsse. P. H. Gray findet für die Temperatur des Kraters 3400° C. Nach zwei verschiedenen Methoden bestimmte Violle[2]) die Kratertemperatur zu 3500° C., ferner aber gibt er an, dass die Temperatur des Lichtbogens selbst, allgemein gesprochen, höher als die der positiven Kohle sei, und dass sie mit der im Bogen verbrauchten Energie zunehme; für die negative Kohle gibt Violle 2700° C. an. Während Moisson gefunden haben will, dass die Temperatur des Bogenlichtes mit dem Strom zunehme, zeigt Violle durch eigene Versuche, dass dies nicht zutreffend ist. Durch Photographieen der Krater fand endlich Violle, dass der Glanz, d. h. die von einem Quadratcentimeter ausgehende Lichtmenge, die gleiche war, ob er den Lichtbogen mit einem Strom von 10 Amp. oder mit 1000 bis 1200 Amp. herstellte. Wie S. Thompson hervorhebt, hat schon Abney gefunden, dass die weissglühende Oberfläche des Kraters immer gleiche Helligkeit besitze, mit welcher Stromstärke auch der Lichtbogen hervorgerufen wird. Daraus ist zu folgern, dass auch die Temperatur des Kraters immer dieselbe sein wird, wie auch die Betriebsstromstärke sich ändern mag. Ueber den absoluten Wert des Glanzes der Kraterfläche ist aus den Bestimmungen Trotters zu folgern, dass derselbe pro 1 qcm Fläche 65 NK betrage, da nämlich bei 26 Amp. und 51 Volt die von der Kraterfläche von 0,162 qmm ausgestrahlte Lichtintensität 1065 NK war, berechnet sich der Glanz zu

$$\frac{1065}{0{,}162 \times 100} = 65 \text{ NK}.$$

Die Erklärung dieses gleichmässigen Glanzes ist, wie dies auch von S. Thompson geschieht, dadurch zu geben, dass man annimmt, die Kohle sei an der Krateroberfläche im Zustande der Verflüchtigung, so dass die Oberfläche der Kohle da, wo sie mit ihrem eigenen Dampfe in Berührung tritt, immer die konstante Verdampfungstemperatur der Kohle besitzt. Auf die gleiche Vorstellung führte die Betrachtung der elektrischen Grössen des Lichtbogens. W. Wilson[3]) schloss aus

[1]) Rosetti, Acad. des Scienc., 10. Nov. 1879; Lumière Electr. 1879, 1, p. 235.

[2]) Violle, The Electrician 1892, p. 460; 1894, p. 238.

[3]) W. Wilson, Proc. Roy. Soc. 1895, 3. Mai oder The Electrician, Juni 1895, p. 261.

Digitized by Google

einigen von ihm angestellten Versuchen, dass das Bogenlicht an Glanz verliere, wenn es dem Drucke einiger Atmosphären ausgesetzt wird; dies würde bedeuten, dass sich die Temperatur des Kraters durch Steigerung des Druckes der umgebenden Luft vermindert, während die Verdampfungstemperatur sich dabei erhöht. Nach Angabe von S. Thompson sind Wilsons Versuche jedoch unzutreffend.

Von verschiedenen Forschern wurde, wie schon oben erwähnt, die Ansicht ausgesprochen, dass die Kraterfläche — meist wird hiebei nicht unterschieden zwischen der wahren Kraterfläche und der durch die Kraterkante gelegten und von dieser begrenzten Ebene — mit der Betriebsstromstärke proportional wächst; es würde dann, da der Glanz der Kraterfläche immer der gleiche bleibt, die Lichtausstrahlung proportional mit der Betriebsstromstärke zunehmen. Hiram-Maxim[1]) gibt z. B. an, dass man, um die Leuchtkraft eines Lichtbogens in Normalkerzen zu finden, die Krateroberfläche, in $^1/_{100}$ Quadratzoll (= 6,45 qmm) ausgedrückt, ins Quadrat erheben und mit 10 multiplizieren müsse, was nur dann richtig sein kann, wenn die Leuchtkraft mit der Krateroberfläche wächst. Die Angabe von Andrews[2]), dass proportional mit der Stromstärke auch die Krateroberfläche sich ändert, ist schon im früheren wiedergegeben. S. Thompson benützt mehrmals diese Relation, doch zeigen die Beobachtungen von H. Ayrton, dass dieselbe eine grössere Genauigkeit nicht besitzen könne, dass also auch die Leuchtkraft des Lichtbogens nicht proportional der Betriebsstromstärke angenommen werden dürfe.

Grössere Bedeutung haben die spektroskopischen Untersuchungen des Bogenlichtes bisher nicht gewonnen, es seien deshalb nur die Untersuchungen von O. E. Meyer[3]) angeführt. Es fand Meyer, dass, wenn die Intensität des gelben Lichtes als 1 angenommen wird, dass man dann für die verschiedenen Farben folgende Intensitäten erhält:

Rot	Gelb	Grün	Blau	Violett	Aeusserstes Violett
2,09	1,00	0,99	0,87	1,03	1,21

Meyer hebt hervor, dass das glühende Gas im Flammenbogen veilchenblau leuchtet, woraus folgere, dass die Farbe des Bogenlichtes sich sehr beträchtlich mit der mehr oder minder guten Entwickelung

[1]) Hiram-Maxim, La Lumière Electr. 1880, 2, p. 413.

[2]) Andrews, La Lumière Electr. 1880, 2, p. 463.

[3]) O. E. Meyer, Zeitschr. f. angew. Chemie 1879, p. 320; Centralbl. f. Elektrotechn. 1883, 21, p. 457.

Digitized by Google

des Lichtbogens verändern muss. Diese Veränderlichkeit erkläre die Abweichungen, welche verschiedene Beobachter gefunden haben, so z. B. H. C. Vogel [1]). Abney [2]) gibt an, dass das violette Licht des elektrischen Spektrums mit dem Flammenbogen fast vollständig verschwindet.

Will man die totale Leuchtkraft von Bogenlicht mit der einer andern Lichtquelle vergleichen, so macht die im allgemeinen verschiedene Verteilung des Lichtes Schwierigkeiten; es wurde deshalb bei Wiedergabe der Beobachtungen an Bogenlampen während der elektrischen Ausstellung in München die sogenannte räumliche Lichtintensität eingeführt, nämlich diejenige Intensität, welche eine nach

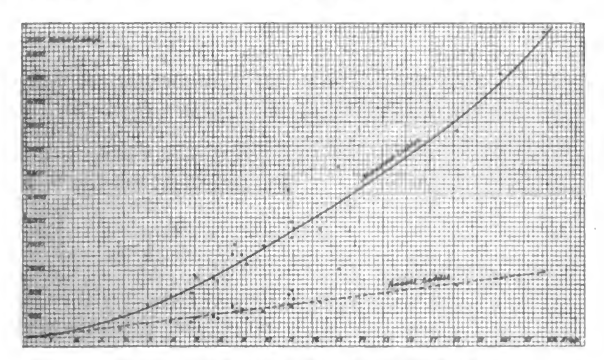


Fig. 25. Lichtstärke für verschiedene Stromstärken.

allen Richtungen gleich intensive Lichtquelle haben müsste, wenn sie die gleiche Lichtmenge ausstrahlen soll als die betrachtete Lichtquelle. Zur Berechnung der mittleren räumlichen Lichtintensität dient die Formel $J_m = {}^1/_4 \, \Sigma \, [\sin \alpha_1 - \sin \alpha_2] \, (J_1 + J_2)$, wobei J_1 und J_2 die in den Richtungen α_1 und α_2 ausgestrahlten Lichtintensitäten sind und die Summe über den halben Vertikalkreis auszudehnen ist. Rechnet man z. B. für die von Wybauw angegebene typische Lichtverteilung des Bogenlichtes die mittlere räumliche Lichtintensität, so findet man dieselbe zu 347 Normalkerzen; würde man nur die von der Horizontalen nach abwärts gehende Lichtmenge in Rücksicht ziehen, so er-

[1]) H. C. Vogel, Monatsber. d. Berl. Akad. 1880, p. 801.

[2]) Abney, Proc. Roy. Soc. 1878, 2, p. 157.

Digitized by Google

hielte man 288 NK. Setzt man voraus, dass die Lichtverteilung wie bei einer horizontalliegenden gleichmässig leuchtenden Ebene sei, also die in Fig. 24 gezogene punktierte Kreislinie die Lichtverteilung darstelle, so würde die räumliche Lichtintensität dieses Bogenlichtes 449 NK betragen. Bei dieser Berechnung ist angenommen, die negative Kohle verdecke das Licht nicht, weshalb man schliessen darf, dass etwa 30 bezw. 36% der ganzen räumlichen Lichtintensität von der negativen Kohle weggenommen werden.

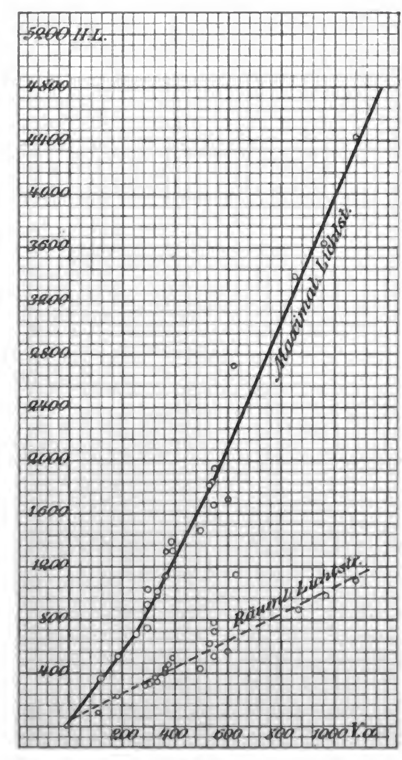


Fig. 26.
Lichtstärke für verschiedene Arbeiten.

Wenn die früher ausgesprochenen Ansichten richtig sind, dass nämlich die Kraterflächen des Bogenlichtes immer denselben und über die ganze Fläche gleichmässigen Glanz haben und die Hauptlichtmenge des Bogenlichtes von dem Krater ausgeht, so muss die in einer Richtung ausgesendete Lichtstärke, also auch z. B. in 130°, für welche nahe die Maximallichtstärke eintritt, der in dieser Richtung sichtbaren Fläche des Kraters proportional sein und dieser von der Grösse der Kraterfläche abhängen. Die mittlere räumliche Lichtintensität kann, da sie von der Bogenlänge abhängig ist,

Digitized by Google

nur dann wenn diese gleichmässig eingehalten, ebenso einfache Relationen wie die Maximallichtstärke liefern. Ob nur die Betriebsstromstärke oder die aufgewendete elektrische Energie massgebend ist, kann bei den Untersuchungen im allgemeinen nicht entschieden werden, da die Spannungsdifferenzen meist wenig verschieden sind. Nach dieser Richtung systematische Untersuchungen liegen nicht vor, es mag genügen, an Hand der von der Prüfungskommission bei der elektrischen Ausstellung in Frankfurt a. M. ausgeführten Beobachtungen [1]) den Zusammenhang zwischen aufgewendeter elektrischer Energie, Stromstärke, Maximallichtstärke und mittlerer räumlicher Lichtintensität nachzuweisen. Die dort erhaltenen Zahlen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Kohlendurchmesser		Bogenlänge	Spannung	Stromstärke	Elektr. Energie	Lichtintensität	
Docht-Kohle mm	Homog.-Kohle mm	mm	Volt	Amp.	Voltamp.	Maximal-Intensität HL	räuml. Lichtst. HL
13,1	7,0	1,1	32	3,9	126	350	110
		3,0	39	5,0	194	520	210
18,0	11,1	3,0	46	8,6	397	1380	510
		3,6	49	11,1	546	1930	770
14,2	10,0	2,7	43	6,0	257	680	240
		2,4	46	7,1	325	1000	320
16,3	11,2	2,0	37	8,0	298	920	290
		1,4	40	9,2	370	1230	390
17,0	12,0	2,7	44	9,0	392	1380	445
		3,7	49	9,9	490	1530	420
		3,7	48	11,2	530	1810	610
18,1	14,5	4,1	49	11,1	542	1660	510
		3,5	49	12,3	600	1800	560
24,3	16,1	5,5	48	18,1	863	3470	860
		7,0	48,5	20,0	968	4420	970
		7,5	49	21,8	1080	5110	1080
17,7	11,9	3,0	43	8,7	375	1540	420
		5,6	50,5	11,0	554	2450	710
		5,1	47	13,1	622	2860	1130
16,0	11,0	2,0	43	7,8	331	990	330
10,0	10,0	2,4	43	7,0	300	1040	300
14,0	10,0	2,3	43	6,9	296	730	240

Diese Zahlen wurden in den Fig. 25 und 26 eingetragen. In Fig. 25 sind die Stromstärken als Abscissen, die Maximallichtstärken und die mittleren räumlichen Lichtstärken als Ordinaten eingetragen, während in Fig. 26 die aufgewendete elektrische Energie als Abscissen,

[1]) Offizieller Bericht d. intern. elektr. Ausstellung in Frankfurt a. M. p. 124.

Digitized by Google

die Maximallichtstärken und die räumlichen Lichtstärken wieder als Ordinaten gezeichnet sind. In beiden Fällen ist die Maximallichtstärke nicht als lineare Funktion der Stromstärke bezw. der elektrischen Energie zu betrachten; die räumlichen Lichtstärken liegen zwar in beiden Fällen noch nahe auf geraden Linien, doch sind die Beobachtungsfehler nicht so gering, um die Richtigkeit dieses Resultates verbürgen zu können.

II. Wechselstrom-Lichtbogen.

Um einen Wechselstromlichtbogen herzustellen, benützte man früher im allgemeinen zwei Homogenkohlen, während man neuerdings, wenigstens in Deutschland, zum Centrieren des Lichtbogens meist zwei Dochtkohlen verwendet, welche aber von gleicher Beschaffenheit und von gleichen Dimensionen sind. Es ist klar, dass man bei einem Wechselstromlichtbogen nicht von einer positiven und einer negativen Kohlenelektrode reden kann, da ja die Kohle, welche in einem Moment positiv war, im nächsten Moment nach erfolgtem Richtungswechsel des Stromes negativ wird. Dementsprechend sollten auch die beiden Kohlen gleichmässig abbrennen, was jedoch, wie gleich erwähnt werden soll, nicht vollkommen zutrifft. Nur wenige Angaben liegen über den Abbrand der Kohlen bei Wechselstrombetrieb vor. Uppenborn[1]) gibt an, dass von der oberen Kohle ungefähr 8% mehr als von der unteren abbrennen; dies ist dadurch erklärlich, dass die obere Kohle durch den aufsteigenden Luftstrom wärmer als die untere wird. Wie früher bei dem Gleichstromlichtbogen wollen wir nun auch bei dem Wechselstromlichtbogen 1. die Form der Kohlen, 2. die elektrischen Grössen des Lichtbogens und 3. die Lichtausstrahlung desselben betrachten.

1. Form der Kohlen bei einem stationären Lichtbogen.

Die Form der Kohlenenden bei einem Wechselstromlichtbogen muss selbstverständlich bei gleichem Material gleich sein, es kann nur dann, wenn die Kohlen wie gewöhnlich übereinander stehen, die obere Kohle wegen stärkerer Erwärmung durch den aufsteigenden Luftstrom sich mehr zuspitzen. Eine gleiche Kraterbildung wie an der positiven Kohle des Gleichstromlichtbogens kann an keiner Kohle stattfinden, denn obwohl in dem Moment, wenn die Kohle die positive Elektrode bildet, ein Krater entsteht, wird doch dann, wenn jene zur negativen

[1]) Uppenborn, Kalender, p. 154.

Digitized by Google

Elektrode geworden, die Kraterbildung wieder rückgängig, und es wird darauf ankommen, welche dieser Umformungen beträchtlicher ist. Dass bei Wechselstrombogenlicht die Form der Kohlenenden im allgemeinen der oben angestellten Ueberlegung entspricht, ist bekannt; doch sind ähnlich eingehende Beobachtungen, wie sie von H. Ayrton für die Kohlen bei Gleichstromlichtbogen gemacht wurden, nicht ausgeführt.

2. Die elektrischen Grössen des Lichtbogens.

a) Ruhiger Lichtbogen.

Bei dem Wechselstromlichtbogen wird der Zusammenhang zwischen den elektrischen Grössen weniger einfach als bei dem Gleichstromlichtbogen, weil bei jenen der periodische Verlauf der Stromstärke und der Spannung bei den Beobachtungen berücksichtigt werden muss, um richtige Schlüsse ziehen zu können. Es soll nur auf einige hiebei zu beobachtende Punkte aufmerksam gemacht werden. Wenn bei

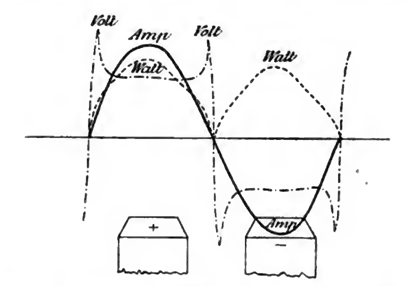


Fig. 27. Elektrische Grössen des Wechselstromlichtbogens.

einem Wechselstrom sowohl die Stromstärke wie die Spannung, welche gleiche Periode haben sollen, nach dem Sinusgesetze verlaufen und dieselben gleiche Phase haben, so ist die wahre verbrauchte elektrische Arbeit gleich der scheinbaren elektrischen Arbeit, nämlich gleich dem Produkte aus der Stromstärke und der Spannung. Dies ist jedoch nicht der Fall, wenn entweder Stromstärke oder Spannung nicht nach dem Sinusgesetze verlaufen oder wenn eine Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung auftritt. Steinmetz[1]) macht darauf auf-

[1]) Steinmetz, Elektrotechn. Zeitschr. 1892. **42**, p. 567.

Digitized by Google

merksam, dass bei den Wechselstromlichtbogen Stromstärke und Spannung nicht gleichzeitg nach dem Sinusgesetze verlaufen können, da der scheinbare Widerstand des Lichtbogens von der Stromstärke abhängig ist und deshalb der scheinbare Widerstand mit der doppelten Periode der Wechselstromwelle sich ändern muss. Durch eine analytische Untersuchung findet man nun, dass, wenn ein Wechselstrom einen mit doppelter Periodenzahl sich ändernden Widerstand durchfliesst, über die einfache Sinuswelle der Spannung oder der Stromstärke sich eine Welle mit dreifacher Periodenzahl legen muss, so dass nicht gleichzeitig Stromstärke und Spannungskurven Sinuswellen sein können. Bei Untersuchungen in der Cornell University Ithaka[1]), welche mit einer Westinghouse-Maschine ausgeführt wurden, hatte die Stromkurve sehr nahe eine Sinusform [sie war nur durch die dreiperiodische Welle ($b \sin 3\varphi$) etwas zugespitzt], die Spannung zeigte jedoch zwei hohe Spitzen mit sattelförmiger Einsenkung. Eine merkbare Phasenverschiebung von Stromstärke und Spannung war nicht zu beobachten, dagegen ergab sich der Quotient aus wahrer elektrischer Arbeit in Watt und dem Produkt aus Spannung und Stromstärke nicht gleich der Einheit, sondern es war:

$$\frac{\text{Watt}}{\text{Volt.Amp.}} = \frac{314}{8.86 \times 42} = 0{,}845.$$

Man kann diese Zahl als Reduktionsfaktor der scheinbaren Phasenverschiebung bezeichnen.

Es wäre jedoch möglich, dass in dem Wechselstromlichtbogen eine Phasenverschiebung zwischen Stromstärke und Spannung dadurch hervorgerufen wird, dass in dem Lichtbogen ein induktiver Widerstand vorhanden ist; der hiedurch auftretende Phasenverschiebungswinkel (φ) ist dann gegeben durch die Gleichung $\cos\varphi = \frac{\text{Watt}}{\text{Volt.Amp.}}$ In diesem Falle wird für wachsende Zahl der Polwechsel der Winkel der Phasenverschiebung grösser, während dies bei der scheinbaren Phasenverschiebung, wie sie durch eine von der Sinusform abweichende Kurve für Stromstärke oder Spannung entsteht, nicht ist. Eine unzweideutige Entscheidung, ob nur eine scheinbare oder eine wahre Phasenverschiebung vorhanden, kann dadurch erhalten werden, dass man die Kurven für Stromstärke und Spannung direkt aufnimmt.

Soweit die vorliegenden Resultate einen Schluss zulassen, hat man es bei einem Wechselstromlichtbogen mit einer scheinbaren, nicht mit

[1]) Transactions of the Americ. Inst. of Electr. Engineers, 7, Nr. 11.

Digitized by Google

einer wahren Phasenverschiebung zu thun. Wie schon erwähnt, wurde bei den Untersuchungen in Ithaka nur eine scheinbare Phasenverschiebung nachgewiesen und der Reduktionsfaktor derselben zu 0,84 gefunden. Auch Frölich[1]) kann eine Phasenverschiebung nicht konstatieren. Heubach[2]), welcher aus dem Quotient $\frac{\text{Watt}}{\text{Volt . Amp.}}$ eine wirkliche Phasenverschiebung folgert, erhielt

für zwei Dochtkohlen den Werth jenes Quotienten = 1,0
für eine Docht- und eine Homogenkohle = 0,92 und
für zwei Homogenkohlen = 0,82

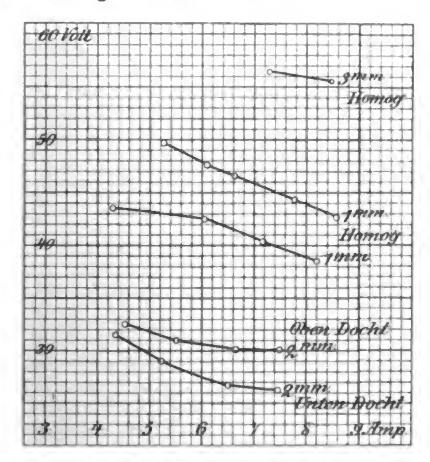


Fig. 28. Spannungsdifferenz für verschiedene Stromstärken.

Görges[3]) schliesst aus den Versuchen von Oehlschläger, Dr. Michalke und Queisser, dass zwischen Spannung und Stromstärke in der Gegend der Nulllinie eine kleine Phasenverschiebung auftrete, und zwar in der gleichen Richtung, wie wenn sie durch Selbstinduktion hervorgerufen wäre; bei hohen Werten der Stromstärke sei diese Verschiebung in entgegengesetzter Richtung und lasse

[1]) Frölich, Elektrotechn. Zeitschr. 1892, **42**, p. 567.
[2]) Heubach, Elektrotechn. Zeitschr. 1892, **34**, p. 460.
[3]) Görges, Elektrotechn. Zeitschr. 1895, **34**, p. 548.

Digitized by Google

sich als eine thermoelektrische Gegenkraft erklären. Diese Phasenverschiebungen sind jedoch geringfügig, und können dieselben vielleicht dadurch bedingt sein, dass die Strom- und Spannungskurven nicht vollkommen gleichzeitig aufgenommen sind. Die von Blondel[1]) erhaltenen Werte sind den Heubachschen Zahlen ähnlich.

Der Zusammenhang der elektrischen Grössen scheint bei dem Wechselstromlichtbogen ein ähnlicher zu sein wie bei dem Gleichstromlichtbogen; doch sind für den ersteren nicht so ausreichende Beobachtungen vorliegend, um die volle Uebereinstimmung oder etwaige Unterschiede mit Sicherheit nachweisen zu können. Aus den Beobachtungen von Heubach kann man folgendes schliessen. Die

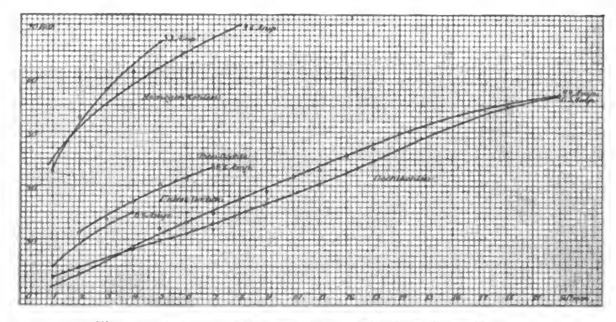


Fig. 29. Spannungsdifferenz für verschiedene Bogenlängen.

Spannungsdifferenz nimmt, wie aus Fig. 28 zu erkennen, mit wachsender Stromstärke ab. Der Verlauf der Kurven ist, soweit man schliessen darf, nicht verschieden wie der in Fig. 8, 9 und 12 gefundenen Kurven für Gleichstromlichtbogen. Trägt man die Heubach'schen Beobachtungen so auf, dass als Abscissen die Bogenlängen und als Ordinaten die Spannungsdifferenzen genommen sind, so erhält man die Fig. 29, welche ebenfalls wieder ähnlich mit den Fig. 10, 13 und 14 bei Gleichstromlichtbogen werden. Für wachsende Bogenlängen werden die Zahlen der Spannungsdifferenzen grösser, für Homogenkohlen sind bei gleicher Bogenlänge die Spannungen höher als bei Benützung einer Dochtkohle, und für zwei Dochtkohlen sind sie am geringsten, z. B. bei einem Lichtbogen von 2 mm ist die Spannung bei Homogen-

[1]) Blondel, La Lumière Electr. 1895.

Digitized by Google

kohlen 51 bezw. 52 Volt, wenn eine der Kohlen homogen 29 bezw. 31 Volt und, wenn beide Kohlen gedochtet sind, 22 bezw. 23 Volt. Ferner ist auch bei grösseren Bogenlängen für ein bestimmtes Kohlenpaar die Spannung bei grösserer Stromstärke geringer. Aus den Beobachtungen von Heubach kann auch der scheinbare Widerstand des Wechselstromlichtbogens gefunden werden. Die Resultate sind in

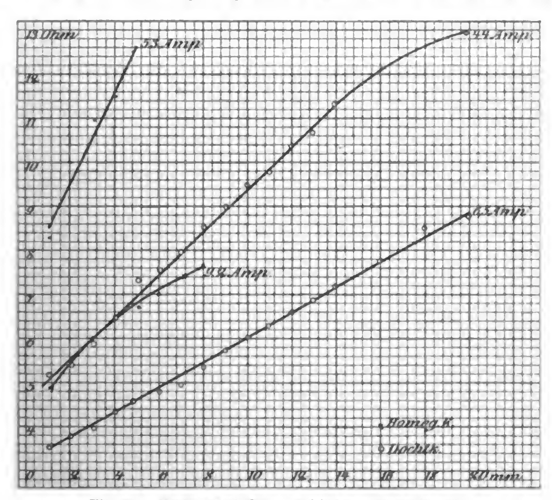


Fig. 30. Widerstand für verschiedene Bogenlängen.

Fig. 30 dazu angewendet, um den Zusammenhang zwischen dem scheinbaren Widerstand und der Bogenlänge nachzuweisen. Vergleicht man diese Figur mit den Kurven in Fig. 14 und 15, welche für den Gleichstromlichtbogen gelten, so ist insoweit eine Uebereinstimmung nachzuweisen, dass die Widerstandskurven nahe gerade Linien sind. Bei einem Kohlenpaar schneiden die Geraden die Ordinatenachse in höheren Punkten, je geringer die Stromstärke, und sind auch stärker gegen die Abscissenachse geneigt, je kleiner die Stromstärke. Die Homogenkohlen haben unter sonst gleichen Umständen grösseren scheinbaren Widerstand als die Dochtkohlen.

Wenn man die Spannungsdifferenz eines Wechselstromlichtbogens durch die gleiche Formel $V = m + n L'$ ausdrückt wie bei einem

Gleichstromlichtbogen, so findet man nach den Beobachtungen von Heubach folgende Werte für die Konstanten:

Für 4,4 Ampère	ist	$V = 19,8 + 2,22\ L$	bei Dochtkohlen,
„ 6,5 „	„	$V = 20,4 + 1,81\ L$	
„ 5,3 „	„	$V = 44,6 + 4,37\ L$	bei Homogenkohlen,
„ 9,2 „	„	$V = 45,9 + 3,07\ L$	
„ 6,2 „	„	$V = 26,6 + 2,53\ L$	oben Docht-, unten Homogenkohle,
„ 6,2 „	„	$V = 26,6 + 2,67\ L$	
„ 6,4 „	„	$V = 22,2 + 3,25\ L$	oben Homogen-, unten Dochtkohle.
„ 6,4 „	„	$V = 22,2 + 3,00\ L$	

Man sieht aus diesen Zahlen, dass die Konstante m am grössten (45 Volt) bei Verwendung von zwei Homogenkohlen ist, kleiner (27 Volt)

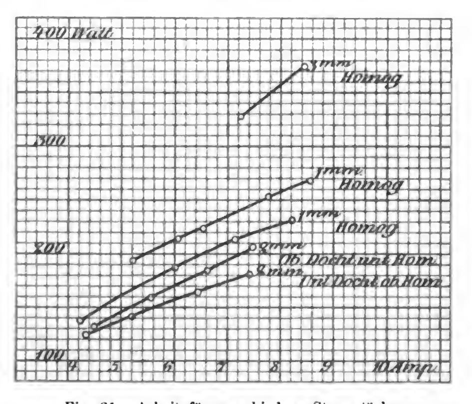


Fig. 31. Arbeit für verschiedene Stromstärken.

wird, wenn unten eine Homogen- und oben eine Dochtkohle, noch kleiner (22 Volt), wenn unten eine Docht-, oben eine Homogenkohle, und am kleinsten (20 Volt), wenn zwei Dochtkohlen benutzt werden. Mit der Stromstärke ist m nicht nachweislich sich ändernd. Ueberhaupt sind wesentliche Unterschiede im Werte m gegenüber dem bei Gleichstromlichtbogen nicht zu erkennen. Die Konstante n wird mit zunehmender Stromstärke kleiner. Wenn man aus den wenigen Beobachtungen (nämlich den auf nur zwei verschiedene Stromstärken für je zwei Docht- und Homogenkohlen sich erstreckenden) eine Folgerung

Digitized by Google

ziehen darf, ist die mit steigender Stromstärke eintretende Abnahme von n bei Homogenkohlen bedeutender als bei Dochtkohlen.

Es ist auch von Interesse, den Arbeitsverbrauch kennen zu lernen, den der Wechselstromlichtbogen mit steigender Bogenlänge dann notwendig macht, wenn die Stromstärke konstant gehalten wird, und sodann auch den Arbeitsverbrauch für verschiedene Stromstärken bei konstant gehaltener Bogenlänge. Die Beobachtungen Heubachs sind zur Konstruktion der Fig. 31 und 32 benützt; in der ersteren

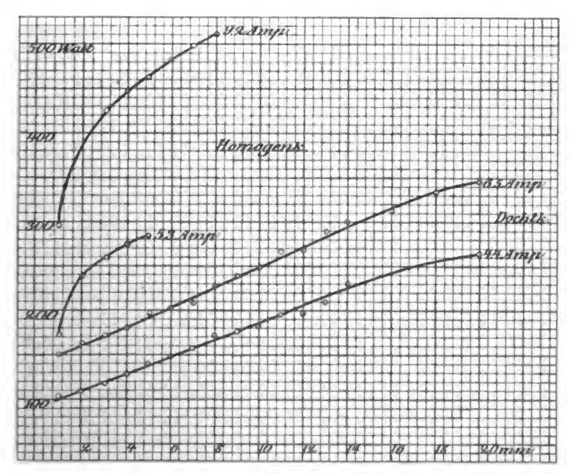


Fig. 32. Arbeit für verschiedene Bogenlängen.

sind die Stromstärken in Ampère als Abscissen, die elektrischen Arbeiten in Watt als Ordinaten und in der letzten die Bogenlängen in Millimeter als Abscissen, die elektrischen Arbeiten wieder als Ordinaten eingetragen. Die Kurven in Fig. 31 zeigen nichts Neues; in Fig. 32 ist der rasche Abfall der elektrischen Arbeit bei geringen Bogenlängen für Homogenkohlen auffällig. Es ist ferner zu beachten, dass der Arbeitsverbrauch mit dem Kohlenmaterial verschieden ausfällt; unter sonst gleichen Umständen ist nämlich bei Homogenkohlen dieser Aufwand am grössten: 266 Watt, dann etwas weniger: 168 Watt, bei Verwendung von Dochtkohle oben und Homogenkohle unten, sodann: 159 Watt bei

Digitized by Google

Homogenkohle oben und Dochtkohle unten, endlich am geringsten: 142 Watt, bei zwei Dochtkohlen.

b) Zischender Bogen.

Bei den Beobachtungen von Heubach trat ein Zischen des Wechselstromlichtbogens nur ein, wenn Homogenkohlen mit kleiner Bogenlänge benützt wurden, und es wurde das Zischen heftiger bei abnehmendem Lichtbogen und zunehmender Stromstärke. Ob bei dem Wechselstromlichtbogen der zischende Bogen in gleicher Weise sich bildet, wie bei dem Gleichstromlichtbogen durch die Beobachtungen von H. Ayrton gefunden wurde, lässt sich nach den wenigen vorliegenden Untersuchungen hierüber nicht angeben. Görges ist der Ansicht, dass das Geräusch beim Wechselstromlichtbogen durch die periodische Erwärmung der Kohlenspitzen und der zwischenliegenden Luft hervorgerufen wird; der Ton hänge von der Form der Stromkurve ab; man erhalte, wenn der Strom nach einer Sinuskurve verlaufe, einen reinen Ton, während dann, wenn der Strom eine Kurve mit plötzlichen Aenderungen besitze, Obertöne und Nebengeräusche (Schnarren) auftreten. Je grösser der Lichtbogen, die Stromstärke und die Periodenzahl des Wechselstromes, desto lauter sei der Ton. Mitunter finde man Kohlen, bei denen der Ton überhaupt nicht wegzubringen sei, während bei anderen wieder ein solcher gar nicht auftrete. Bezüglich der elektrischen Grössen beim zischenden Wechselstromlichtbogen ist einerseits durch die Beobachtungen Heubachs wahrscheinlich, dass beim Eintritt des Zischens ein rascher Spannungsabfall nicht stattfindet, und ferner ist nachgewiesen, dass bei dem zischenden Lichtbogen eine sehr grosse scheinbare Phasenverschiebung auftritt: es ist nämlich der Wert des Quotienten $\frac{\text{Watt}}{\text{Volt.Amp.}}$ zu 0,74 erhalten worden. Immerhin kann es nach diesen Resultaten zweifelhaft erscheinen, ob das bei dem Wechselstromlichtbogen sich zeigende Singen analog mit dem Zischen des Gleichstromlichtbogens ist.

3. Die Lichtausstrahlung des Lichtbogens.

Während bei dem Gleichstromlichtbogen die positive Kohle eine höhere Temperatur als die negative Kohle hat und dementsprechend die erstere eine beträchtlich grössere Lichtmenge ausstrahlt, kann bei dem Wechselstromlichtbogen ein wesentlicher Unterschied in der Lichtausstrahlung der beiden Kohlen nicht stattfinden, da abwechselnd,

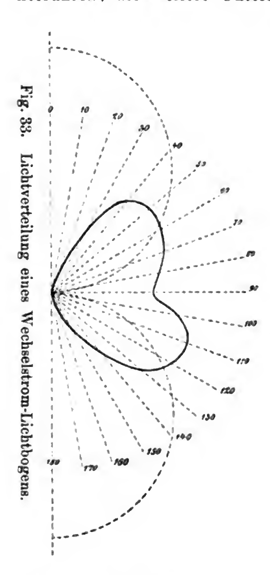
Digitized by Google

je nachdem die obere oder untere Kohle etwa als positive Elektrode wirksam ist, die eine oder andere mehr Licht aussenden wird. Diese durch den Polwechsel bedingten Schwankungen in der Lichtintensität sind begleitet von den Intensitätsschwankungen, welche von der Stromstärkeänderung des Wechselstromes herrühren. Das Auge bemerkt diese Schwankungen nicht, wenn sie rasch hintereinander folgen. Görges gibt an, dass bei 60 Polwechseln in der Sekunde ein Unterschied in der Lichtintensität von dem Auge nicht mehr beobachtet werden kann, bei 60 Polwechseln sei derselbe schon wahrzunehmen, und bei 40 Polwechseln in der Sekunde entstehe ein unerträgliches Flimmern. Von Interesse ist es, den Nachweis zu führen, ob die Temperaturänderung und damit auch die Lichtausstrahlung der Kohlen rasch der Intensitätsänderung des Wechselstromes nachfolgt, oder ob schon bei geringer Zahl der Polwechsel ein Ausgleich in der Weise erfolgt, dass die hieraus resultierende Helligkeitsänderung eine unmerkbare ist. Görges hat gezeigt, dass die Temperatur der Kohlen so rasch den Stromänderungen nachfolge, dass man die dadurch hervorgerufenen Helligkeitsänderungen photographisch fixieren kann, es ändert sich die Lichtintensität fast momentan mit der Stromstärke, indem sie anscheinend alle Variationen der Stromkurve wiederspiegelt. Ist der Wechselstrom nach einer Sinuskurve verlaufend, so erkennt man auch das allmähliche, anfangs raschere, später langsame Ansteigen und das ähnliche Absinken der Lichtintensität in der Photographie; bei einer flachen Kurve ist dem Verlaufe dieser Kurve entsprechend die Lichtintensität rasch wachsend, bleibt dann nahe konstant, um wieder rasch abzunehmen, während endlich bei einer spitzen Kurve auch die Lichtintensität ziemlich gleichförmig bis zum Maximalwert zunimmt und dann gleichmässig wieder abnimmt.

Die Lichtverteilung des von einem Wechselstrombogenlichte ausgesendeten Lichtes ist natürlich sehr verschieden von der eines Gleichstrombogenlichtes. Es treten an beiden Kohlen, sowohl der oberen wie der unteren, nahe gleichgrosse und gleichleuchtende Flächen auf; ob dieselben bei vertikal stehenden Kohlen als genau horizontal liegend angesehen werden dürfen, ist nicht festgestellt. Behalten wir diese Annahme jedoch bei und sehen ferner voraus, dass nach oben nur Licht von der leuchtenden Fläche der unteren Kohle, nach unten nur solches von der oberen Kohle gelangt, so erhält man als Lichtkurve die beiden in Fig. 33 punktiert gezogenen Kreislinien, wenn die beiden Flächen ebenso wie die positive Kraterfläche beim Gleichstromlichtbogen immer konstant leuchtend angenommen werden dürfen. Die

Digitized by Google

in dieser Fig. 33 ausgezogene Kurve liefert die aus mehreren für Wechselstrom gefundenen Lichtkurven abgeleitete typische Lichtausstrahlung eines Wechselstromlichtbogens. Es wird die in horizontaler Richtung ausgehende Lichtintensität grösstenteils vom Lichtbogen selbst herrühren; der weitere Unterschied, dass die Maximallichtstärke nach unten hin grösser als die nach oben ist, mag davon herrühren, dass die obere Kohle wegen der nach oben gehenden Luftströmung wärmer ist. Fraglich bleibt es, ob die beiden Flächen die Temperatur der verdampfenden Kohle haben und deshalb den gleichen Glanz wie der positive Krater des Gleichstromlichtbogens besitzen. Trotter [1]) gibt an, dass nach Untersuchungen in Chatam der Glanz des Wechselstrombogenlichtes 39 bis 117 Normalkerzen pro Quadratcentimeter, z. B. für 240 Ampère 116 NK pro Quatratcentimeter, betrage. Vergleicht man diese Zahlen mit dem Werte 65, der in Chatam für den Glanz eines Gleichstromlichtbogens gefunden wurde, so ist eine Uebereinstimmung nicht zu erkennen; die sehr verschiedenen Grenzwerte scheinen jedoch anzudeuten, dass man es hier nicht mit sicheren Zahlen zu thun hat. Fleming und Petavel [2]) geben an, dass die jeweilige negative Kohle bei dem Wechselstromlichtbogen eine geringere Maximallichtstärke als die der positiven Kohle habe. Bei einer Polwechselzahl von 83 in der Sekunde sei der Maximalglanz der negativen Kohle nicht viel mehr als die Hälfte des Maximalglanzes der positiven Kohle; je geringer die Zahl der Polwechselzahl, um so grösser sei der Unterschied.


Fig. 33. Lichtverteilung eines Wechselstrom-Lichtbogens.

In vollkommen klarer Weise ist aus der von Fleming und Petavel gegebenen Fig. 34 für ein Wechselstrombogenlicht zu ersehen,

[1]) Trotter, Elektrot. Zeitschr. 1892, **32**, p. 433.

[2]) Flemming und Petavel, The Electrician 1895 Dec., **20**, p. 247.

Digitized by Google

wie die Stromstärke, Spannung, elektrische Arbeit und ausgestrahltes Licht in jedem einzelnen Moment zusammenhängen. Die hiebei verwendeten Dochtkohlen hatten 15 mm Durchmesser, wurden bei einer Bogenlänge von 5,5 mm mit 14 Ampère betrieben und zeigten dann 39 Volt Spannungsdifferenz; die Zahl der Polwechsel war 83,3 in der

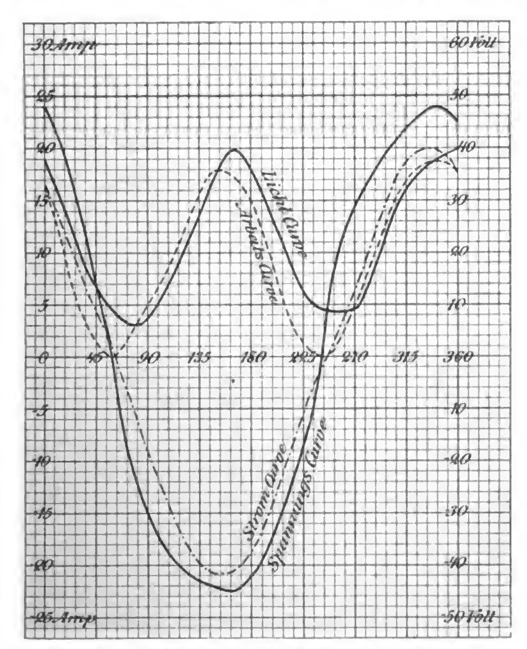


Fig. 34. Elektrische Grössen und Lichtstärke eines Wechselstrom-Lichtbogens.

Sekunde. Zu beachten ist, dass in der Zeichnung die Ordinaten der Arbeits- und die der Lichtkurve in einer beliebigen Einheit aufgetragen sind, nämlich so, dass sie zweckmässig in der Figur Platz fanden. Von Wichtigkeit ist, dass die Lichtkurve gegen die Kurve der elektrischen Arbeit etwas verzögert ist, d. h. dass die Annahme der entsprechenden Temperatur und damit auch der Helligkeit etwas zurück-

Digitized by Google

bleibt gegenüber der dieselbe bedingenden Stromstärke oder elektrischen Arbeit. Von noch grösserem Interesse ist die Fig. 35. Auch hier sind Dochtkohlen von 15 mm Durchmesser benützt und zeigten bei einer Bogenlänge von 4,2 mm und einer Betriebsstromstärke von 14 Ampère

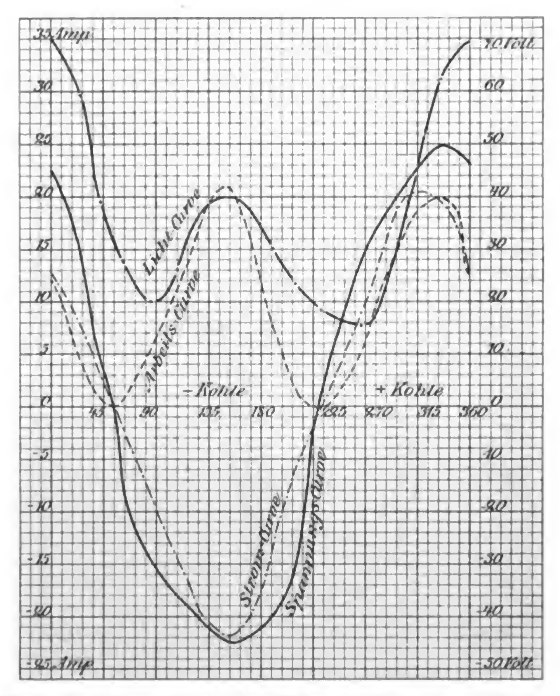


Fig. 35. Elektrische Grössen und Lichtstärke eines Wechselstrom-Lichtbogens.

eine Spannung von 16 Volt. Die Polwechselzahl ist dabei ebenfalls 83,3. Hier ist nur das von der unteren Kohle ausgehende Licht beobachtet worden, im übrigen sind die Eintragungen der anderen Grössen wie in der vorausgehenden Figur. Man sieht, dass auch hier die Lichtkurve immer hinter der Arbeitskurve zurückbleibt, ferner aber,

Digitized by Google

dass, wie schon oben erwähnt, dann, wenn die untere Kohle die negative Elektrode bildet, die Maximallichtintensität beträchtlich kleiner ist, als wie wenn die untere Kohle als positive Elektrode erscheint. Ganz ähnliche Resultate teilt Görges mit. Diese sind in den Fig. 36, 37 und 38 dargestellt, aus welchen ebenfalls zu erkennen ist, dass die Lichtkurve immer gegen die Kurve der aufgewendeten elektrischen Arbeit zurückbleibt, und ferner, dass diejenige Kohle, welche die negative Elektrode bildet, eine beträchtlich kleinere Maximalleuchtkraft besitzt als die positive Kohle. Zum Verständnis der Kurven sei noch beigefügt, dass die in Fig. 37 einen sinusartigen Verlauf haben, die in Fig. 36 aber mehr flach und die in Fig. 38 mehr spitz sind.

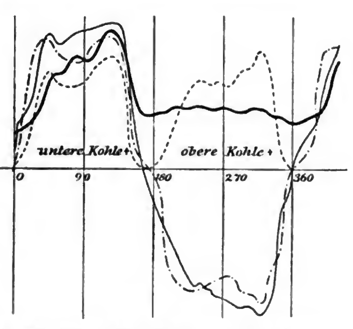


Fig. 36. Elektrische Grössen und Lichtstärke eines Wechselstrom-Lichtbogens.

Die Temperatur der Kohlenspitzen und damit die Leuchtkraft ist in dem Wechselstromlichtbogen nach Görges im wesentlichen durch die aufgewendete elektrische Energie bedingt; sie hängt jedoch von der Form der Kurve des Wechselstromes und der Periodenzahl ab. Vor allem soll gezeigt werden, dass die Form der Kurve für den Betriebsstrom einen nicht unbedeutenden Einfluss auf die Lichtentwickelung ausübt. G. Roessler und Wedding [1]) haben durch

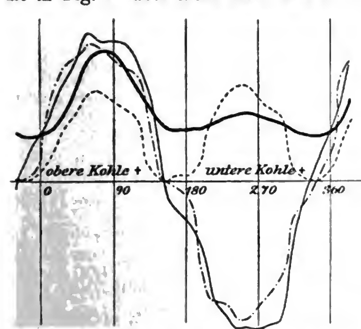


Fig. 37. Elektrische Grössen und Lichtstärken eines Wechselstrom-Lichtbogens.

[1]) Roessler und Wedding, Elektrotechn. Zeitschr. 1894, 23, p. 315.

Versuche nachgewiesen, dass je flacher die Stromkurve ist, um so grösser die Leuchtkraft wird. Die Resultate sind:

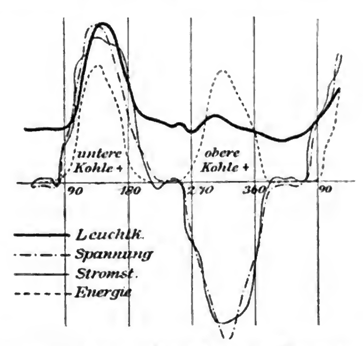


Fig. 38. Elektrische Grössen und Lichtstärke eines Wechselstrom-Lichtbogens.

Maschine	Wechsel Zahl	Spannung in Volt	Stromstärke in Amp.	Elektr. Arbeit in Volt-Amp.	Lichtstärke in H.-L.			Mittlere räumliche Lichtstärke	Gesamt-mittel
					hori-zontal	ver-tikal	maximal		
Ganz & Co.	4800	29,9	9,8	271	74	50	341 (50°)	0,684	
	"	29,9	9,8	275	75	55	323 (51°)	0,699	
	"	29,9	9,8	273	78	55	330 (54°)	0,729	
	"	29,9	9,6	267	75	50	343 (51°)	0,736	0,710
	"	29,9	9,6	269	58	55	310 (53°)	0,719	
	"	28,8	9,6	259	70	45	310 (50°)	0,722	
	"	28,8	9,5	256	58	47	310 (51°)	0,685	
	"	29,7	9,4	262	66	57	312 (48°)	0,716	
	"	29,9	9,3	264	53	60	323 (51°)	0,703	
Wechsler	4800	31,0	9,5	286	157	80	463 (42°)	1,055	1,050
	"	31,1	9,3	286	145	70	437 (42°)	1,003	
	"	31,1	9,4	288	160	70	447 (43°)	1,010	
Siemens-Halske	7200	31,0	9,5	272	155	80	423 (43°)	1,057	1,024
	"	31,0	9,5	277	130	75	475 (44°)	1,047	
	"	30,9	9,5	268	157	55	430 (43°)	1,046	
Siemens-Halske	9600	31,0	9,1	269	160	80	500 (44°)	1,078	1,110
	"	31,0	9,0	269	145	80	500 (47°)	1,143	

Die in der letzten Reihe enthaltenen Mittelwerte, welche die mittleren räumlichen Lichtstärken für 1 Watt aufgewendeter elektrischer Arbeit darstellen, zeigen, dass für die Maschinen von Ganz

Digitized by Google

u. Co. sowie von Wechsler bei nahe gleichem Arbeitsverbrauch und gleicher Wechselzahl die Lichtentwickelung für 1 Watt etwa im Verhältnisse von 7 zu 10 steht. Die Kurven der Stromstärke,

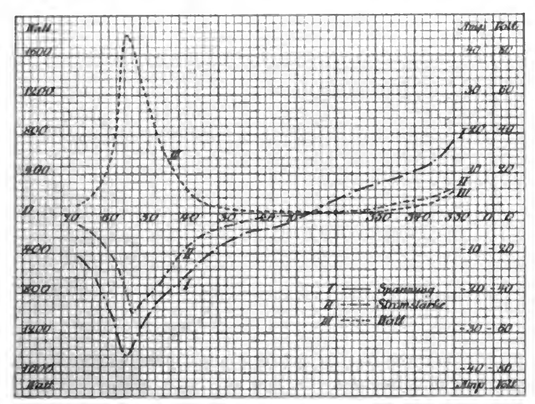


Fig. 39. Elektrische Grössen einer Maschine von Ganz u. Co.

Spannung und elektrischen Arbeit für die beiden Maschinen sind aber, wie aus Fig. 39 und 40 sofort ersichtlich, sehr verschieden. Bei der Maschine von Ganz u. Co. bleiben dieselben nämlich anfänglich nahe bei Null, steigen dann rasch zu ihrem Maximalwert, um wieder ebenso rasch abzunehmen und längere Zeit nahe an Null zu ver-

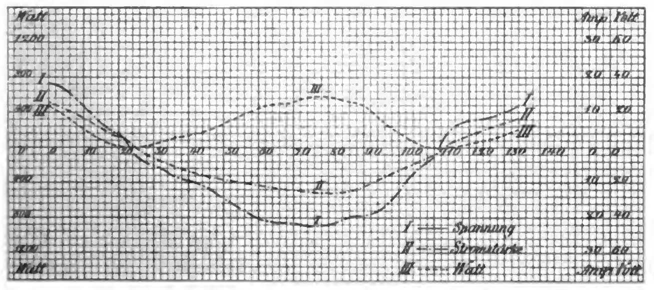


Fig. 40. Elektrische Grössen einer Maschine von Wechsler.

Digitized by Google

weilen, während die Kurven bei den Wechslerschen Maschinen einen allmählichen Uebergang der Ordinatenwerte zeigen. Auch für die Siemens-Halske-Maschine, deren Kurven der Stromstärke, Spannung und elektrischen Arbeit in Fig. 41 gezeichnet sind, unterscheidet

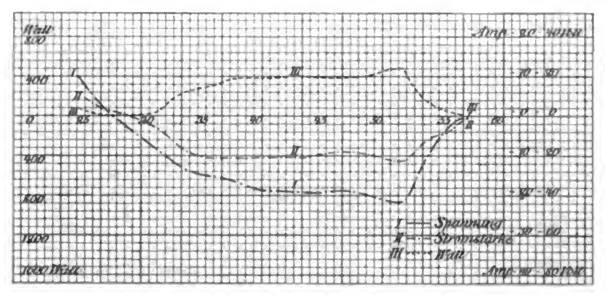


Fig. 41. Elektrische Grössen einer Maschine von Siemens.

sich der Verlauf der Kurven gegen den bei den anderen Maschinen dadurch, dass die Ordinaten von Null aus rasch wachsen, dann lange

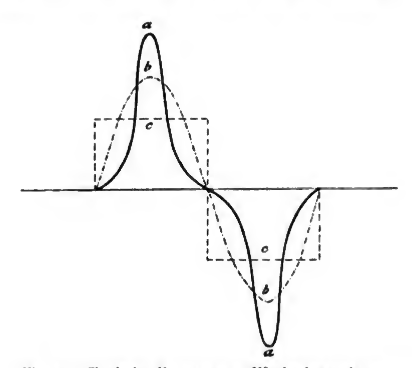


Fig. 42. Typische Formen von Wechselstromkurven.

auf einem konstanten Wert bleiben und nun wieder rasch gegen Null hin abfallen. Die mittlere räumliche Lichtstärke für 1 Watt scheint bei der Siemens-Halske-Maschine noch etwas grösser als bei der

Digitized by Google

Wechslerschen, doch ist der Entscheid dafür nicht mit Schärfe zu treffen, weil die Tourenzahl der Siemens-Halske-Maschine beträchtlich höher ist als die der Maschinen von Ganz u. Co. sowie von Wechsler. Da aber, wie nachher angeführt werden soll, mit der Tourenzahl auch die mittlere räumliche Lichtstärke pro 1 Watt zu wachsen scheint, ist es nicht feststehend, ob der gefundene Zuwachs der räumlichen Lichtstärke pro 1 Watt durch die Kurvenform bedingt ist, welche für die Siemens-Halske-Maschine nachgewiesen wurde. Als typische Formen der Kurven für den Wechselstrom der drei Maschinen von Ganz u. Co., Wechsler und Siemens-Halske kann man die in Fig. 42 gezeichneten Kurven a, b und bezw. c ansehen und kann sich die Vorstellung machen, dass die Lichtentwickelung den plötzlich sich ändernden Werten der Stromstärken, wie etwa bei der Ganzschen Maschine, nur unvollkommen nachfolgen kann und deshalb die Ausnützung der aufgewandten Arbeit eine weniger gute ist als z. B. bei der Wechslerschen Maschine, bei welcher die Lichtentwickelung den langsamen Aenderungen der Stromkurve leichter nachzufolgen vermag, oder endlich bei der Siemens-Halske-Maschine, bei welcher die Stromstärken während des grössten Teiles der Periode einen konstanten Wert beibehalten. Wedding macht darauf aufmerksam, dass die Lichtentwickelung der drei Maschinen, soweit der Genauigkeitsgrad der Betrachtungen einen Schluss erlaubt, in gleichem Verhältnis stehen wie die Quotienten aus mittlerer Stromstärke und der Wurzel aus den mittleren Quadraten der Stromstärken, also aus $\frac{M(A)}{\sqrt{M(A^2)}}$; denn man erhält für die Stromkurve der Maschine von Ganz u. Co. im Mittel aus drei Beobachtungen 0,656, für die Stromkurve der Wechslerschen Maschine aus zwei Beobachtungen 0,907 und für die der Siemens-Halske-Maschine aus einer Beobachtung 0,914; es sind nämlich die Verhältniszahlen der mittleren räumlichen Lichtstärken pro 1 Watt, wenn man die für die Ganzsche Maschine gleich der Einheit setzt, bezw. 1,0: 1,38: 1,40, und die Verhältniszahlen der oben angegebenen Quotienten, wenn man wieder den der Ganz-Maschine gleich 1 setzt: 1,0: 1,45: 1,48. Wenn diese Zahlen auch bei weiteren Beobachtungen sich bewahrheiten, ist der Schluss von Wedding gerechtfertigt, dass die Lichtentwickelung eines Wechselstromlichtbogens von dem einfachen Mittelwerte der Stromstärke abhängt. Ganz ähnliche Schlüsse wie Roessler und Wedding zieht Görges[1]). Er

[1]) Görges, Elektrotechn. Zeitschr. 1895, 34, p. 548.

Digitized by Google

findet für eine flache Kurve des Wechselstroms 0,960 HL. als mittlere räumliche Lichtintensität pro Watt, dagegen für eine spitze Kurve 0,796 HL. Ferner spricht Görges die Ansicht aus, dass die Möglichkeit nicht ausgeschlossen sei, das Auge erkenne nicht den algebraischen Mittelwert der Lichtstärke, sondern irgend einen andern Mittelwert, und hält es endlich für wahrscheinlich, dass bei sehr grosser Wechselzahl die Leuchtkraft von der Form der Stromkurve unabhängig sei.

Die Lichtentwickelung scheint mit wachsender Wechselzahl zu-

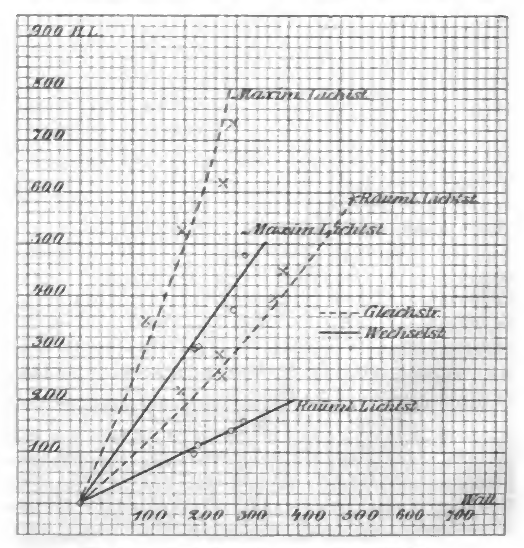


Fig. 43. Lichtstärken für verschiedene Arbeiten.

zunehmen. In dieser Richtung sind die eben angeführten Beobachtungen von Roessler und Wedding zu deuten, indem die Siemens-Halske-Maschine unter sonst gleichen Umständen für eine Wechselzahl von 7200 eine mittlere räumliche Lichtstärke pro Watt von 1,050 und für eine Wechselzahl von 9600 eine Lichtstärke von 1,110 lieferte. Blondel[1]) glaubt mit Sicherheit den Schluss ziehen zu dürfen, dass die Lichtentwickelung mit wachsender Wechselzahl zunimmt.

[1]) Blondel, La Lumière electr., 42, p. 619.

Digitized by Google

Vergleicht man endlich die zur Erzeugung einer bestimmten Lichtstärke aufzuwendende elektrische Energie bei Gleichstrom und Wechselstrom, so ergeben sich hiefür nicht unwesentliche Unterschiede. Es wächst zwar für Wechselstrombogenlicht die Leuchtkraft mit steigendem Energieaufwand, jedoch nicht in gleich raschem Verhältnis wie bei dem Gleichstromlichtbogen. Diese Thatsache lässt sich aus den Beobachtungen der Untersuchungskommission bei der internationalen Ausstellung in Frankfurt a. M.[1]) entnehmen, welche in Fig. 43 dargestellt sind. Bei dem Gleichstromlichtbogen wächst sowohl die Maximallichtstärke als auch die mittlere räumliche Licht-

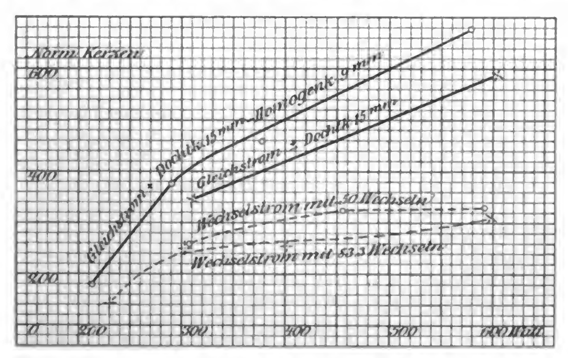


Fig. 44. Lichtstärken für verschiedene Arbeiten.

stärke bedeutend rascher mit der aufgewendeten elektrischen Energie, wie bei dem Wechselstromlichtbogen. Ganz entsprechend sind die von Fleming und Petavel[2]) gefundenen Kurven, welche in Fig. 44 wiedergegeben sind.

Diese Beobachtungen berechtigen auch zu dem Schluss, dass bei gleicher aufgewendeter elektrischer Arbeit der Gleichstromlichtbogen eine grössere räumliche Leuchtkraft besitze als der Wechselstromlichtbogen; um diese Thatsache übersichtlich nachzuweisen, dient folgende Tabelle, in welcher in der ersten Reihe die Kohlen angegeben sind, zwischen welchen der Lichtbogen gebildet wurde; die zweite Reihe enthält die für den Lichtbogen aufgewendete elektrische

[1]) Officieller Bericht p. 127.

[2]) Fleming und Petavel, The Electrician 1895, p. 247.

Digitized by Google

findet für eine flache Kurve des Wechselstroms 0,960 HL. als mittlere räumliche Lichtintensität pro Watt, dagegen für eine spitze Kurve 0,796 HL. Ferner spricht Görges die Ansicht aus, dass die Möglichkeit nicht ausgeschlossen sei, das Auge erkenne nicht den algebraischen Mittelwert der Lichtstärke, sondern irgend einen andern Mittelwert, und hält es endlich für wahrscheinlich, dass bei sehr grosser Wechselzahl die Leuchtkraft von der Form der Stromkurve unabhängig sei.

Die Lichtentwickelung scheint mit wachsender Wechselzahl zu-

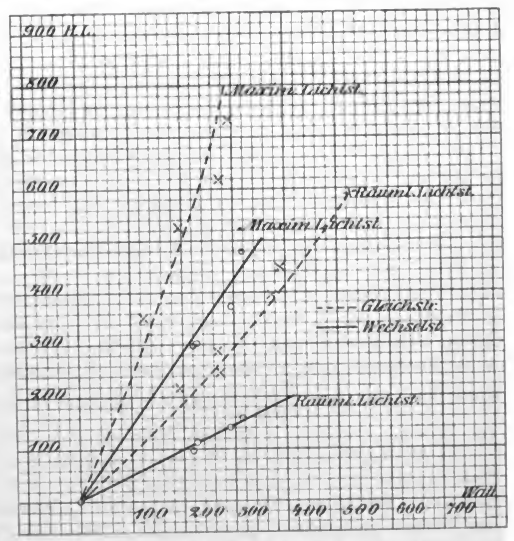


Fig. 43. Lichtstärken für verschiedene Arbeiten.

zunehmen. In dieser Richtung sind die eben angeführten Beobachtungen von Roessler und Wedding zu deuten, indem die Siemens-Halske-Maschine unter sonst gleichen Umständen für eine Wechselzahl von 7200 eine mittlere räumliche Lichtstärke pro Watt von 1,050 und für eine Wechselzahl von 9600 eine Lichtstärke von 1,110 lieferte. Blondel[1]) glaubt mit Sicherheit den Schluss ziehen zu dürfen, dass die Lichtentwickelung mit wachsender Wechselzahl zunimmt.

[2]) Blondel, La Lumière electr., 42, p. 619.

Digitized by Google

Vergleicht man endlich die zur Erzeugung einer bestimmten Lichtstärke aufzuwendende elektrische Energie bei Gleichstrom und Wechselstrom, so ergeben sich hiefür nicht unwesentliche Unterschiede. Es wächst zwar für Wechselstrombogenlicht die Leuchtkraft mit steigendem Energieaufwand, jedoch nicht in gleich raschem Verhältnis wie bei dem Gleichstromlichtbogen. Diese Thatsache lässt sich aus den Beobachtungen der Untersuchungskommission bei der internationalen Ausstellung in Frankfurt a. M.[1]) entnehmen, welche in Fig. 43 dargestellt sind. Bei dem Gleichstromlichtbogen wächst sowohl die Maximallichtstärke als auch die mittlere räumliche Licht-

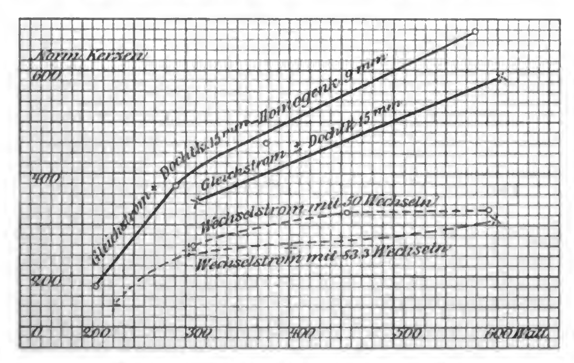


Fig. 44. Lichtstärken für verschiedene Arbeiten.

stärke bedeutend rascher mit der aufgewendeten elektrischen Energie, wie bei dem Wechselstromlichtbogen. Ganz entsprechend sind die von Fleming und Petavel[2]) gefundenen Kurven, welche in Fig. 44 wiedergegeben sind.

Diese Beobachtungen berechtigen auch zu dem Schluss, dass bei gleicher aufgewendeter elektrischer Arbeit der Gleichstromlichtbogen eine grössere räumliche Leuchtkraft besitze als der Wechselstromlichtbogen; um diese Thatsache übersichtlich nachzuweisen, dient folgende Tabelle, in welcher in der ersten Reihe die Kohlen angegeben sind, zwischen welchen der Lichtbogen gebildet wurde; die zweite Reihe enthält die für den Lichtbogen aufgewendete elektrische

[1]) Officieller Bericht p. 127.

[2]) Fleming und Petavel, The Electrician 1895, p. 247.

Digitized by Google

Energie in Watt, die dritte Reihe gibt die mittlere räumliche Lichtstärke und die letzte die mittlere räumliche Leuchtkraft für 1 Watt.

Lichtkohlen	Elekt. Energie	Räuml. Lichtst.	Räuml. Leuchtkr.
+ 15 mm Docht — 9 mm Homogen	582	675	1,16
	380	455	1,19
	292	372	1,27
+ 15 mm Docht — 15 mm Docht	607	582	0,95
	313	344	1,10
± 15 mm Docht Wechselz. 83,3	601	307	0,51
	501	274	0,54
	404	256	0,63
	305	250	0,82
± 15 mm Docht Wechselz. 50	596	326	0,55
	459	322	0,70
	308	254	0,82

Im Mittel verhalten sich demnach die mittleren räumlichen Leuchtkräfte pro 1 Watt aufgewendeter Energie für Gleichstrom und Wechselstromlichtbogen wie 1,13: 0,65. Zu einem ähnlichen Resultate führen auch die Beobachtungen von Roessler und Wedding; sie fanden für die mittlere räumliche Lichtstärke unter der Horizontalen für 1 Watt aufgewendeter elektrischer Energie bei Gleichstromlichtbogen 2,65 und bei Wechselstromlichtbogen unter sonst gleichen Verhältnissen je nach der Form der Stromkurve die Werte 0,710, 1,024, 1,050 und 1,110. Auch aus den Messungen während der Frankfurter elektrischen Ausstellung erhält man für einen Gleichstromlichtbogen die totale mittlere räumliche Lichtstärke pro Watt 0,96 und für einen Wechselstromlichtbogen bei nahe gleicher aufgewendeter elektrischer Energie 0,46.

Digitized by Google

Grundlagen
für die Berechnung und den Bau von elektrischen Bahnen

und deren praktische Benutzung.

Von

Dr. Max Corsepius.

Mit 2 Abbildungen.

Wenn uns die Aufgabe gestellt wird irgend etwas zu berechnen, so müssen wir stets im Auge behalten: Was kann die Rechnung leisten, was ist ihr Zweck?

Die Leistung einer jeden Rechnung besteht darin, dass wir durch sie in den Stand gesetzt werden, aus gewissen Grundlagen, gewöhnlich Annahmen, bestimmte Ergebnisse abzuleiten, deren Kenntnis für uns notwendig oder erwünscht ist. Die Rechnung schafft also keine unabhängig neue Erkenntnis und kein fundamental neues Wissen, sondern sie lehrt uns nur den Erfolg, den unsere auf gewisse Grundanschauungen aufgebauten Annahmen in ihrer Endwirkung ausüben und besitzen.

Man muss sich daher hüten, einer Rechnung eine höhere Bedeutung beimessen zu wollen, als ihr zukommt. Es genügt nicht, dass wir dies oder jenes berechnet haben, es handelt sich darum, unter welchen Annahmen haben wir es berechnet, was für eine Grundlage hat die Rechnung? Hiemit eng im Zusammenhange steht der Wert des Ergebnisses und die Frage, ob das Berechnete richtig ist.

Der Umfang einer technischen Berechnung kann sehr verschieden sein, und die Grade, die eine solche Rechnung durchmacht, von den

Digitized by Google

Voraussetzungen bis zum Ergebnis, sind durchaus kein Massstab für die Güte des Resultates. Eine technische Rechnung braucht durchaus nicht auf die allereinfachsten Grundbegriffe zurückzugehen, um Anspruch auf Güte zu haben. Ja, man kann sagen, je direkter man in der Technik zum Ziel gelangt, desto besser ist die Methode der Berechnung. Das Ideal ist einfach Resultate zu benutzen und gar keine Zwischenrechnungen durchmachen zu müssen.

Was allgemein in der Technik gilt, gilt im speziellen in der Elektrotechnik und dem hier zu behandelnden Thema, den elektrischen Bahnen.

Es soll daher die Frage behandelt werden, wie gelangt man in der elektrotechnischen Bahnpraxis am leichtesten und mit möglichst wenigen und möglichst einfachen Rechnungen an das Ziel, zu der Kenntnis dessen, was man zu thun hat, um eine den speziellen Verhältnissen entsprechende Ausführung der Bahn zu sichern.

Man wird daher Grundwerte aufstellen müssen, auf die sich die Berechnung stützt, dabei aber danach trachten, diese Grundwerte dem gesuchten Ergebnis so nahe als möglich zu bringen, damit man möglichst wenig Stufen durchzumachen hat, um durch Rechnung das Gewünschte zu finden.

Die vollkommenste Grundlage wird nach diesen erörterten, der Technik angepassten Gesichtspunkten diejenige sein, welche sich in eine Tabelle zusammenfassen lässt, und welche nahezu direkt benützt werden kann. Daneben kommen einfache Verfahren der Berechnung nach gewissen zu erörternden Grundregeln in Betracht. Nicht entbehrt werden können natürlich hiebei einzelne rechnerische, mathematische Ableitungen, denen dabei die Bedingung auferlegt werden muss, dass sie bei richtigen Grundlagen auch richtige, d. h. zutreffende Ergebnisse liefern.

Es wird sich hiebei zeigen, dass einige abstrakte Vorstellungen und mathematische Behandlungen mit herangezogen werden müssen, und dass man gerade mit Hilfe solcher einfache Rechnungsverfahren gewinnt, welche uns in den Stand setzen, bei der technischen Rechnung selbst mit den primitivsten Rechenmitteln oder auch graphisch zu operieren und den Gegenstand einfach zu behandeln.

Bei einer elektrischen Bahn kann man nicht umgehen, die Erfordernisse nach dem Betriebe zu beurteilen, d. h. die Grundlagen je nach den Verhältnissen zu wählen oder abzuändern. Selbst bei den vollkommensten Rechenunterlagen wird also der Ingenieur seine Urteilskraft zu Rate ziehen und die Zahlenwerte je nach Bedarf wählen oder

Digitized by Google

abändern müssen, und das ist seine vornehmlichste Aufgabe bei der Projektierung, sobald das Material für die Rechnung und die Methode erst einmal geschaffen ist.

Noch eine weitere Aufgabe aber fällt dem Ingenieur zu. Er hat nicht nur zu berechnen, es muss auch die Ausführung so gewählt werden, dass alle nicht nur inneren, d. h. im Zusammenarbeiten der Systemteile liegenden Bedingungen berücksichtigt sind, sondern auch die Forderungen, die etwa von aussen her gestellt werden. So legen die Einwirkungen von Bahnen auf andere Anlagen, z. B. Telephoneinrichtungen u. dergl., gewisse Bedingungen auf, die im Bau der Bahn zu berücksichtigen sind, und deren Einfluss sich eventuell bis in die Rechnung erstreckt, jedenfalls aber auf die allgemeine Disposition einwirkt. Wir sahen aber, wenn die Grundlagen geändert, beeinflusst werden, so wird auch das Ergebnis anders, die Rechnung ist eben nur Zwischenglied in der Kette des logischen Denkens und der sachgemässen Anordnung.

Die vorliegende Arbeit beabsichtigt daher einen allgemeinen Ueberblick über die Behandlung des Stoffes zu geben, ohne dass genaue Vorschriften, die die Beurteilung überflüssig machen, gegeben werden sollen oder können, vielmehr soll nur ein Anhalt geschaffen werden, was beachtenswert ist, und worin die Grundlagen bestehen.

Einige, wenn auch nicht mehr neue, so doch noch nicht näher besprochene Methoden des Verfassers für Ermittelung von Spezialwerten sollen hiebei mit zur Sprache kommen, und wenn auch kein abgeschlossenes Ganze bei der stetig fortschreitenden Arbeit der Technik angestrebt oder erreicht werden kann, so wird sich vielleicht das eine oder andere als zur Benutzung reif erweisen und Anregung zu neuem Schaffen geben.

Nachdem so in allgemeinen Zügen der Versuch gemacht ist, ein Bild vorwegzunehmen von dem, was das folgende bieten soll, erscheint es zweckmässig, in die Behandlung des speziellen Stoffes direkt einzutreten und anknüpfend an mehr oder weniger allgemein Bekanntes und Geläufiges den besonderen Thatsachen das Augenmerk zuzuwenden.

Berechnung der zur Fortbewegung erforderlichen Leistung.

Die Gleichungen, welche zur Ermittelung der Zugkraft resp. (unter Miteinrechnung der Geschwindigkeit) der Leistung dienen, welche zur Fortbewegung eines Bahnfahrzeuges oder Zuges erforderlich ist,

Digitized by Google

sind verhältnismässig einfach, sobald sie sich auf das Notwendige beschränken, werden aber sofort kompliziert, wenn man versucht, alles aus den allereinfachsten Grundbegriffen abzuleiten. Hier zeigt sich also gleich die vorbemerkte Thatsache, dass eine Rechnung um so bequemer und in der Praxis brauchbarer wird, je weniger Stufen sie von der Grundlage (Annahme) bis zum Ergebnis durchläuft.

Es ist gebräuchlich, die zur Fortbewegung eines Fahrzeuges erforderliche Kraft oder die Leistung rechnerisch vom Gewicht des Fahrzeuges abhängig zu machen. Festgestellt kann praktisch werden, wie viel Pferdestärken bei bestimmter Geschwindigkeit ein gegebener Wagen oder Zug auf gegebenem Geleise erfordert. Unter der Annahme nun, dass die Zugkraft, gemessen in Kilogramm-Gewicht, unabhängig von der Geschwindigkeit ist, wird die erforderliche Leistung in Pferdestärken proportional der Geschwindigkeit ausfallen und man erhält für eine Schienenstrecke von gleichbleibenden Eigenschaften die einfache, leicht abzuleitende Gleichung:

$$L = \frac{\alpha \,.\, T \,.\, v}{75}$$

Hierin ist L die Leistung in Pferdestärken, T Gewicht in Tonnen, v Geschwindigkeit in m/sec, und α eine Konstante.

Da man aber theoretisch leicht nachweisen kann, dass nach physikalischen Gesetzen bei einer Bergfahrt mit s m Steigung auf 1000 m Bahnlänge bei Abwesenheit von Reibung eine Leistung notwendig ist

$$l_s = \frac{s \,.\, T \,.\, v}{75}$$

so kann man durch Abziehen dieses lediglich für die Hebung des Gewichtes notwendigen Betrages von der vorgenannten Gesamtleistung die Reibungsarbeitsleistung erhalten

$$l_r = L - l_s = \frac{(\alpha - s) \,.\, T\, v}{75},$$

oder, indem man $\alpha - s = f$ setzt

$$l_r = \frac{f \,.\, T \,.\, v}{75}$$

als Betrag für die Reibung. Hiedurch vervollständigt sich die Formel für die Gesamtleistung zu

$$L = \frac{(f + s) \,.\, T \,.\, v}{75}.$$

Digitized by Google

Für eine bestimmte Geschwindigkeit v = konst. ist diese Formel vollkommen richtig. f ist eine von den Schienen- und Wagenverhältnissen abhängende Konstante. Ist v veränderlich, so wird die oben bezeichnete Annahme der Unabhängigkeit der Grösse f von v zu prüfen sein.

Man findet dabei, dass f trotz gleicher Schienen- und Wageneigenschaften, nicht unabhängig von v ist und daher allgemein keine Konstante ist.

Hiezu kommt nun, dass die Art der Schienen, ob Rillenschienen ob Vignolschienen, ferner ob dieselben in das Strassenniveau eingebettet sind (Strassenbahnen) oder ob sie frei liegen (Eisenbahnen), ob Kies-, Beton-, Holz-, Steinunterlage, einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Grösse von f ausübt.

Wollte man diese Veränderlichkeit in der Formel selbst zum Ausdruck bringen, so würde man unbedingt vor den entstehenden Komplikationen zurückschrecken. Es würden dann auch noch sofort andere Faktoren sich einstellen und Berücksichtigung fordern. Wir nennen nur den Luftdruck, d. h. die Luftreibung, den Einfluss der Kurven, der Spurweite etc.

Es mag nun vom Standpunkte der reinen Theorie höchst interessant erscheinen, diese Erscheinungen zu analysieren und Formeln dafür zu konstruieren. Vom Standpunkte der Technik aus ist das aber sehr gleichgiltig und unnötig, denn wir müssen an dem in der Einleitung Gesagten festhalten. Wir wollen so wenig wie möglich rechnen, wir wünschen nicht auf die primitivsten Begriffe der Physik zurückzugehen. Im Gegenteil, je direkter und stufenloser unsere Rechnung ist, desto besser.

Hier steht uns helfend zur Seite die Thatsache, dass sich in jedem Zweige der Technik, speziell der Elektrotechnik, bald etwas Konventionelles einfindet. Dies Konventionelle besteht bei den elektrischen Strassenbahnen beispielsweise in der durch die Betriebsverhältnisse veranlassten Geschwindigkeit und in der Wahl der Schienen. Man wird sehr häufig eine mittlere Geschwindigkeit von 15 km pro Stunde finden und ebenso die Verwendung von schweren massiven Rillenschienen.

Rechnet man nun noch dazu, dass die Wagen mehr und mehr sich der Grösse für 20 Sitz- und etliche Stehplätze anpassen, so erkennt man, dass sehr grosse Variationen eigentlich nicht vorhanden sind.

Nun ist aber die Thatsache zu beachten, dass die elektrische

Digitized by Google

Ausrüstung je nach ihrer Konstruktion derartige Verschiedenheiten in dem Stromverbrauch zeigt, dass hier eine sehr genaue Berücksichtigung der speziellen Verhältnisse notwendig wäre, wenn man nicht in diesem Punkte zu grossen Abweichungen kommen will. Da nun eine derartige spezielle Kalkulation zu einer allgemeinen Behandlung einen Gegensatz bildet, so wäre es ungerechtfertigt und zwecklos, in einem Punkte übermässig genau, in anderen nur mit grober Annäherung zu rechnen.

Alles dies führt uns dazu, dass wir auf die Aufstellung von Formeln, die auf die einzelnen Grundbegriffe zurückgehen, verzichten und ohne Umweg rechnen.

Die zuletzt genannte Gleichung wird daher nach unserer Ansicht bereits das zulässige Mass von Komplikation erreicht haben. Sie hat ausserdem den Vorteil, dass der eine Summand theoretisch absolut richtig ist und dass der schon an und für sich variable Faktor f alle Variationen, wie Luftdruck, Geschwindigkeit, Schienenverhältnisse, berücksichtigen lässt. Es handelt sich dann nur darum, für jeden konkreten Fall f entsprechend zu wählen.

Es erscheint an dieser Stelle zweckmässig, gleich zu erwähnen, dass bei den gebräuchlichen Strassenbahnen nach dem wirklichen Verbrauch in Wattstunden sich ermitteln lässt, dass bei einem Wirkungsgrade des Motors von 0,8 ein mittlerer Koeffizient $f = 15$ nicht zu hoch gegriffen ist. Derselbe drückt dann allerdings den Widerstand einschliesslich aller durch Anfahren, Kurven etc. bedingten Nebenumstände aus.

Werden nicht Rillen- sondern Vignolschienen gewählt, so reduziert sich der Wert von f auf z. B. 6 bis 8, bei Eisenbahnen sind sogar Werte von 3 und ähnliche zu finden. Die gewöhnlichen Strassenbahnverhältnisse liefern aber $f = 15$ und nur bei besonders günstigen Umständen weniger. Dabei darf natürlich nicht übersehen werden, dass bisweilen die unökonomische Regulierung der Strassenbahnen den Wattverbrauch erheblich steigert, und daher der Mehrverbrauch nicht der Reibungsarbeit, sondern den Stromwärmeverlusten zuzuschreiben ist.

Erforderliche Gesamtleistung für den Betrieb einer Bahn.

Sind wir jetzt durch die Annahme der einfachen Formel in der Lage, die erforderliche Leistung für einen Wagen bezw. Zug für verschiedene Steigung zu berechnen, so fragt es sich weiter, wie sich der

Digitized by Google

Kraftbedarf stellt, wenn mehrere Wagen oder Züge auf einer aus verschiedenen Steigungen zusammengesetzten Strecke fahren.

Man überblickt sofort, dass die Stromstärke sich für jeden Wagen und ebenso auch für die Gesamtleistung häufig ändert. Es kommen aber noch weitere Umstände hinzu, welche selbst bei vollkommen horizontaler Bahn das Auftreten eines konstanten Stromes ausschliessen. Diese Aenderungen sind dadurch begründet, dass nicht ein gleichmässiges Fahren aller Wagen möglich ist, sondern die einzelnen Wagen bald halten, bald wieder anfahren, durch Kurven fahren, im Tempo zulegen, langsamer fahren müssen, weil kleine Verkehrshindernisse eintreten u. s. w. Man hat also bei einer elektrischen Bahn ein Problem zu lösen, das weit komplizierter ist, als irgend eine noch so komplizierte Zugkraftberechnung, und muss dabei noch mit der Möglichkeit einer erheblichen Abweichung der Stromvariationen rechnen.

Wir wollen daher die Mittel und Wege erörtern, wie man sich ein Bild von diesen Vorgängen machen und wie man mit ihnen rechnerisch verfahren kann.

Unter Zuhilfenahme der erwähnten Hauptformel erkennt man, dass ein konstanter Kraftbedarf nötig ist, unabhängig von der Steigung, und dass zu diesem sich jeweilig diejenige Leistung addiert, welche zum Heben des Gewichtes erforderlich ist, die von der Steigung abhängig und bald positiv, bald negativ ist. Würde man nun annehmen, dass man die bei der Thalfahrt in der Formel negativ auftretende Energie nicht durch Bremsung vernichten, sondern wiedergewinnen und der Betriebsmaschine bezw. den anderen in der Bergfahrt befindlichen Wagen zuführen würde, so würde, eine sehr grosse Zahl von Betriebswagen, d. h. eine sehr grosse Verkehrsdichtigkeit vorausgesetzt, und angenommen, dass Hin- und Rückfahrt sich auf derselben Bahnlinie vollziehen, die erforderliche Gesamtleistung sich dem Vielfachen derjenigen Leistung nähern, welche auf der Horizontalen erforderlich ist; dies allerdings nur insoweit, als nicht die anderen, oben erwähnten und durch das unregelmässige Fahren bedingten Faktoren Abänderungen dieser Leistung herbeiführen.

Nun sind aber die gegenwärtig in Gebrauch befindlichen Wagen im allgemeinen so beschaffen, dass bei der Thalfahrt gebremst wird. Dies hat zur Folge, dass der bei der Thalfahrt sich ergebende negative Summand fortfällt und daher Null wird. Es bleiben also die positiven Summanden übrig, und sie bewirken eine Vergrösserung der Leistung.

Man erkennt leicht, dass, je grösser die vorkommenden Steigungen

Digitized by Google

sind, desto mehr die Leistung für Horizontalfahrt durch die positiven Summanden vermehrt wird.

Man kann nun, um die erforderliche Vermehrung der Horizontalleistung in Abhängigkeit zu bringen von dem Grade der Steigungen, den Begriff der sogenannten „mittleren Steigung" einführen. Hiebei ist aber folgendes zu beachten.

Wir sahen eben, dass das wirkliche Mittel der Steigung = 0 ist, d. h. die Steigungen treten in demselben Grade positiv wie negativ auf. Da aber in Wirklichkeit bei Thalfahrt gebremst wird, so ist die rechnerische mittlere Steigung grösser als Null.

Unsere sogenannte mittlere Steigung ist diejenige, welche sich ergibt, wenn man jede Niveauänderung als Bergfahrt behandelt, also Neigungen als Steigungen betrachtet. Man summiert einfach alle einzelnen Niveaudifferenzen und dividiert sie durch die Länge der gesamten Strecke.

Es ist nun ohne weiteres klar, dass es theoretisch sinnlos wäre, dieser mittleren Steigung einen direkten rechnerischen Wert beizulegen und etwa anzunehmen, dass man einfach mit der Gesamtwagenzahl und dieser mittleren Steigung nach der Hauptformel die erforderliche Gesamtleistung ausrechnen könne.

Hiebei ist u. a. zu bedenken, dass nur dann bei Thalfahrt gebremst wird, wenn der Betrag von s grösser ist als f; ferner aber, dass die oben genannten Voraussetzungen über die Wagenzahl (die Verkehrsdichtigkeit) nicht erfüllt sind; und dass endlich der Kraftbedarf trotz gleicher „mittlerer Steigung" bei sehr unregelmässigen Streckenprofilen erheblich höher ist als bei sehr gleichmässig in gleichbleibendem Sinne ansteigender Strecke; kurz gesagt, dass der Einfluss des unregelmässigen Fahrens weit überwiegt.

Nichtsdestoweniger kann uns der Betrag der mittleren Steigung als bequemer Anhalt dienen, um die erforderliche Gesamtleistung annähernd zu beurteilen.

Wir werden dann im späteren noch bei der Betrachtung der Maschinenleistungen näher auf diese Verhältnisse eingehen und auch den Einfluss auf die Leistung betrachten, welcher durch diejenige Anordnung ausgeübt wird, die dazu dient, die Energie bei Thalfahrt nutzbar wiederzugewinnen.

Betriebsbedingungen für die Motoren.

Ehe wir jetzt auf die speziellen rechnerischen Ermittelungen des wirklichen Kraftbedarfs eingehen, wollen wir eine kurze Betrachtung

Digitized by Google

derjenigen Verhältnisse vorausschicken, unter denen ein elektrischer Strassenbahnmotor arbeitet.

Es ist schon an anderer Stelle [1]) vom Verfasser in einem Vortrage darauf hingewiesen worden, wie verschieden der Grad ist, in dem verschiedene Arten von Fortbewegungsmitteln für den Bahnbetrieb geeignet sind.

Es ergab sich aus den dort aufgestellten Betrachtungen, dass solche Motoren, wie Dampfmaschinen und Gasmotoren, welchen eine mehr konstante Zugkraft eigen ist, im Nachteil sind gegenüber denjenigen Mitteln, die eine Aenderung der Zugkraft mit Leichtigkeit zulassen.

Dieser Umstand lässt erkennen, dass das Pferd für Strassenbahnen sehr ausnutzungsfähig ist und nur den Nachteil mit sich bringt, dass die bei ihm zulässige Arbeitszeit sehr beschränkt ist, indem es bald ermüdet.

Der Elektromotor, und zwar in eklatanter Weise gerade der Hauptstrommotor, hat nun die Eigenschaft, seine Zugkraft und auch seine Leistung in hohem Masse fast selbstthätig verändern zu können. Ohne jede weitere Beeinflussung wird der Hauptstrommotor, sobald der Wagen schwer geht (Steigung), mehr Zugkraft ausüben und langsamer gehen, und sobald der Wagen leicht geht (Horizontalfahrt), schneller gehen und dabei seine Zugkraft mässigen. Dies ist aber sehr erwünscht und vorteilhaft und entspricht auch der Eigenschaft des Pferdes.

Der Motor wird in dieser Eigenschaft durch den Umstand wesentlich unterstützt, dass die starken Beanspruchungen wegen ihrer kurzen Dauer weit grösser ausfallen können als bei stationären Motoren, und dass, wegen der unveränderlichen Bürstenstellung in der Mittellinie, die Rückwirkung des Ankerstromes sehr gering ist, also ein Anwachsen des Stromes das Feld wesentlich stärkt, so dass die Zugkraft im allgemeinen mehr wie proportional dem Strome wächst. Hiebei kann die Magnetisierung ohne Bedenken bis auf das äusserste Mass gesteigert werden, da die Geschwindigkeit bei normaler Leistung weit grösser und demgemäss der Magnetismus für gewöhnlich viel geringer ist.

Man erkennt daher auch, dass der Elektromotor ebenso wie das Pferd in hohem Masse ausnutzungsfähig ist. Ja es ergibt sich hiedurch der für die Berechnung von Strassenbahnmotoren wichtige Finger-

[1]) Elektrotech. Zeitschr. 1895, **11**, p. 168.

Digitized by Google

zeig, dass die Motoren durchaus nicht im stande sein müssen, die während der Fahrt vorkommende Maximalleistung dauernd herzugeben. Vielmehr sind dieselben auf eine geringere Dauerleistung zu berechnen, und es ist zugleich auf die verschiedenen Geschwindigkeiten Rücksicht zu nehmen, wie dies vom Verfasser in seinem früheren Vortrage als leicht zu erfüllende Forderung aufgestellt wurde.

Daraus folgt nun auch, dass eine Angabe für einen Bahnmotor, er leiste so und so viel PS ganz wertlos ist, denn man weiss nicht, ob maximal, ob dauernd, ob mit der geringsten oder mit der grössten Geschwindigkeit. Weitere Angaben sind daher erforderlich.

Auch ist dabei zu bedenken, dass es notwendig ist, bei der Wickelung des Motors auf die Betriebsfahrgeschwindigkeit Rücksicht zu nehmen und jene so einzurichten, dass der Motor sich der wirklichen Geschwindigkeit gut anpasst. Wird aber die Wickelung geändert, so ändert sich auch die Leistung. Dabei ist allerdings zu beachten, dass z. B. eine geringere Geschwindigkeit auch eine geringere Motorenleistung erfordert.

Nachdem wir uns über den Einfluss der besonderen Verhältnisse auf die Berechnung der Werte für Leistung etc. klar geworden sind, sollen jetzt die speziellen Ermittelungsverfahren besprochen werden, welche auf bequeme Weise genaue Ergebnisse zu liefern bestimmt sind; natürlich unter dem Vorbehalte der eingangs besprochenen Abhängigkeit von Resultat und Voraussetzung.

Rechnerische Behandlung eines Bahnnivellements.

Eine genaue Behandlung eines Strassenbahnprojektes setzt voraus, dass ein Nivellement der Strecke vorliegt. Gewöhnlich ist der Massstab der Höhen ein anderer als für die Streckenlänge.

Ein Beispiel eines solchen Nivellements in Form eines Höhendiagramms ist in Fig. 1 gegeben. Dieselbe stellt ein von der Firma Akt.-Ges. Elektrizitätswerke vorm. O. L. Kummer & Co. behandeltes Projekt dar und ist von derselben für die vorliegende Arbeit freundlichst zur Verfügung gestellt.

Die Aufgabe besteht darin, zu jedem Punkte der Bahnstrecke nach dem gegebenen Höhendiagramm die erforderliche Leistung in Pferdestärken zu finden und ein dem Höhendiagramm entsprechendes Kraftdiagramm zu ermitteln; dieses Diagramm soll in demselben Längenmassstab ausgeführt werden wie das Höhendiagramm, damit beide direkt vergleichbar sind und untereinander gezeichnet werden können.

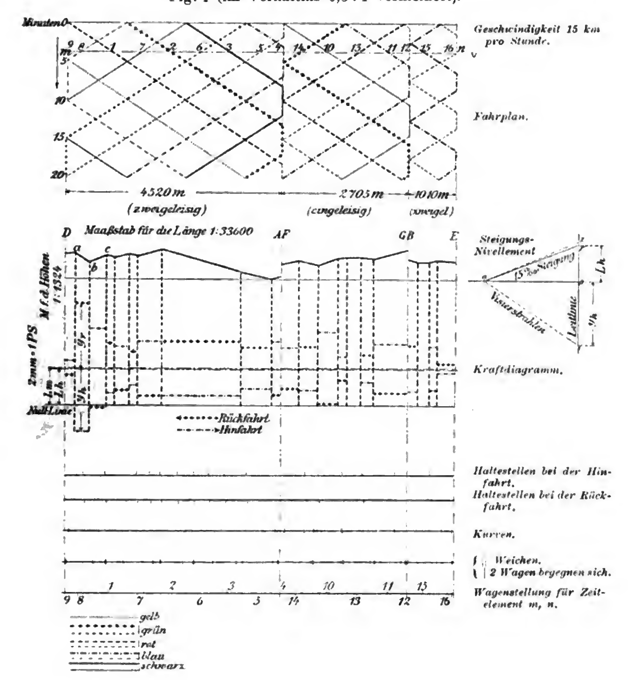
Digitized by Google

In der Figur sind die beiden Diagramme als Steigungsnivellement und Kraftdiagramm bezeichnet.

Darüber findet sich das Diagramm für den Fahrplan. Aus demselben ist ersichtlich, wo sich in jedem Moment die einzelnen Wagen befinden.

Die Methode des Verfassers zur Ermittelung der Leistungen,

Fig. 1 (im Verhältnis 0,3 : 1 verkleinert).



welche derselbe seit einigen Jahren benützt, besteht nun in folgendem: Man berechnet nach der Hauptformel für $s = o$, d. h. für Horizontalfahrt, die zur Fortbewegung des Fahrzeuges bei der zu Grunde ge-

Digitized by Google

legten Geschwindigkeit, z. B. 15 km pro Stunde, erforderliche Anzahl Pferdestärken. Dieser Wert, bezeichnet L_h, wird in das Kraftdiagramm als Horizontale eingetragen, und zwar in einem beliebigen, geeigneten Massstab.

Je nach der Steigung kommt zu L_h ein Summand in positivem oder negativem Sinne hinzu.

Ist nun s = dem Koeffizient f, der hier = 15 angenommen ist, so wird der Summand $= \pm L_h$.

Man konstruiert sich ausserhalb auf dem Papier des Diagrammplanes aus einer Leitlinie in der Vertikalrichtung $\varepsilon\,\beta\,\delta$ und einer Horizontalen $\alpha\,\beta$ ein Koordinatensystem.

Vom Schnittpunkt β trägt man auf der Ordinatenachse L_h ab bis γ.

Nun konstruiert man in den beiden Massstäben des Steigungsnivellements eine Gerade in der Steigung s = 15, d. h. 15 m Erhebung im Höhenmassstab auf 1000 m Länge im Längenmassstab. Zu dieser Geraden zieht man durch γ eine Parallele und erhält so den Visierpunkt α.

Das weitere, graphische Verfahren besteht nun einfach darin, dass man durch α zu den Steigungslinien des Nivellements Parallele zieht. Diese Visierstrahlen schneiden auf der Leitlinie Grössen y ab, welche, je nachdem der Wagen bergan oder bergab fährt, in das Kraftdiagramm von der Linie L_h ab nach oben oder nach unten eingetragen werden, wie z. B. y für Strecke ab. Hiebei ist y_h im Kraftdiagramm für Hinfahrt (von links nach rechts), y_r für Rückfahrt (von rechts nach links) eingetragen.

Dadurch nun, dass man im Kraftdiagramm, jedesmal auf die Länge konstanter Steigung Horizontale durch die gefundenen Diagrammpunkte, zugehörig zur Nivellementstrecke zieht, erhält man das aus Horizontalstücken zusammengesetzte Kraftdiagramm.

Das gezeichnete Diagramm ist unter der Voraussetzung gewonnen, dass die Geschwindigkeit auf der ganzen Strecke und bei allen Steigungen konstant ist. Demgemäss ist der in Fig. 1 oberhalb gezeichnete Fahrplan einfach in der Weise erhalten, dass die Neigung der die einzelnen Wagenfahrten darstellenden Linien konstant ist; d. h. auf der Vertikalachse (Ordinatenachse) sind die Zeiten nach Minuten abgetragen und durch den Anfangspunkt ist eine Gerade nach demjenigen am Ende der Strecke gelegenen Punkt gezogen, welcher die Gesamtfahrzeit der Strecke in Minuten angibt. Die anderen, den weiteren Wagen entsprechenden Linien sind alle dieser ersten Linie parallel gezogen.

Digitized by Google

Die Linien für die Rückfahrten sind ebenso in entgegengesetztem Sinne erhalten. Die Wartezeit am Ende der Strecke ist dadurch berücksichtigt, dass entsprechende Vertikalstrecken zwischen den Treffpunkten an der Ordinate links und der Ordinate rechts liegen.

Zur Zeit 0 sind die Wagen 1, 2, 3, 4 auf der Hinfahrt, die Wagen 5, 6, 7, 8 auf der Rückfahrt.

Es ist auch möglich, in dem Kraftdiagramm und ebenso im Fahrplandiagramm auf verschiedenen Strecken mit verschiedenen Geschwindigkeiten zu rechnen.

Beim Kraftdiagramm hat man dann nur nötig, den Pol α bei grösserer Geschwindigkeit von der Leitlinie proportional abzurücken und bei kleinerer Geschwindigkeit der Leitlinie entsprechend zu nähern, um durch die Abschnitte auf derselben direkt stets die Leistung in PS zu finden.

Im Fahrplandiagramm drückt sich die verschiedene Geschwindigkeit darin aus, dass die Linien mit verschiedenen Neigungen zu ziehen sind.

Die Behandlung nach der angegebenen Methode gestattet daher in einfacher Weise auch den Umstand zu berücksichtigen, dass häufig die Vorschrift erlassen wird, auf einer Strecke, soweit sie durch städtisches Gebiet fährt, mit geringer Geschwindigkeit (z. B. 12 km pro Stunde), ausserhalb der Stadt jedoch mit grosser Geschwindigkeit (z. B. 20 km pro Stunde) zu fahren.

Die Schnittpunkte ergeben stets diejenigen Stellen, an denen sich die Wagen begegnen, wo also bei eingeleisigen Bahnen die Ausweichungen liegen müssen.

Ermittelung der Maschinenleistung.

Nachdem man die erörterten Diagramme gewonnen hat, ist man in der Lage, festzustellen, wie gross die Kraft in jedem Moment ist, die die Wagen zusammen zu ihrer regelmässigen Fortbewegung nötig haben. Man hat nur nötig, für das bestimmte in Frage kommende Zeitmoment die Stellung der verschiedenen Wagen zu ermitteln, indem man durch das Fahrplandiagramm an der betreffenden Stelle eine Horizontale zieht, und für die durch die Schnittpunkte mit den Fahrlinien in jenem Diagramm gegebenen Wagenstellungen aus dem Kraftdiagramm die Leistungen zu entnehmen und zu summieren. Dividiert man diese Anzahl PS durch den Gesamtwirkungsgrad der Anlage, z. B. 0,65, so erhält man die Leistung an der Dampfmaschine.

Digitized by Google

Wollte man nun glauben, dass diese so ermittelte Leistung die zum Betriebe erforderliche maximale Maschinenleistung darstellt, so wäre man im Irrtum. Selbst wenn man eine ganze Reihe von Zeitmomenten in der angegebenen Weise durchprobiert und das Maximum aller Werte nimmt, wäre diese Grösse nicht diejenige Maschinenleistung, welche das Betriebsmaximum darstellt. Es kommt dies einfach aus dem schon im früheren erwähnten Grunde, dass diejenigen Faktoren noch nicht berücksichtigt sind, welche eine Abweichung von dem regelmässigen im Kraftdiagramm gegebenen Stromverbrauch bedingen. Wir sahen, dass das Anfahren, Anhalten, das unregelmässige Fahren überhaupt ziemlich plötzliche und erhebliche Stromänderungen hervorruft.

Diese Stromänderungen wären nun belanglos, wenn dieselben bei den verschiedenen Wagen zu gleicher Zeit in verschiedenem Sinne so erfolgten, dass sie sich gegenseitig aufheben. Hiezu liegt aber gar kein Grund vor. Die Aenderungen des Stromes erfolgen durchaus unabhängig bei den verschiedenen Wagen und werden durch das etwaige Vorhandensein einer grossen Zahl von Wagen zwar gemildert, d. h. sie machen in Prozent der Gesamtleistung weniger aus, doch nicht aufgehoben.

Nachdem wir nunmehr erkannt haben, dass der Momentanwert der Diagrammleistungen vermehrt werden muss, um die Maschinenleistung zu bestimmen, fragt sich jetzt, welche Vergrösserung jenes Wertes erforderlich ist.

Nach dem eben erwähnten Umstande, dass eine grosse Wagenzahl die Stromschwankungen abmildert, ergibt sich ohne weiteres, dass ein bestimmter prozentualer Zuschlag zum Diagrammwert keinen Anspruch auf Berechtigung hat. Vielmehr ist klar, dass z. B. die durch das Anfahren bewirkte Unregelmässigkeit des Stromes sich bei einer Bahn mit einem oder wenigen Wagen weit mehr bemerkbar machen wird als bei einer Bahn mit sehr vielen Wagen; denn der Strom zum Anfahren macht bei einem Wagen in Prozent viel mehr aus als bei vielen Wagen.

Es kommt noch ein Umstand hinzu, der nämlich, dass die Fahrt der Wagen nicht mit derjenigen Regelmässigkeit erfolgt, die im Fahrplandiagramm wiedergegeben ist. Ferner aber wird der Wagenführer nicht mit derjenigen Regelmässigkeit und Gleichmässigkeit den Strom regulieren als das Diagramm lehrt.

Wir werden also zunächst versuchen müssen, die unregelmässige Fahrt rechnerisch auszudrücken, und weiter eine Methode ausfindig zu

Digitized by Google

machen, um diese Zahlen so zu verwerten, dass die wirklichen Betriebsverhältnisse mit allen ihren möglichen Kombinationen und Zufälligkeiten berücksichtigt werden. Eine Willkür muss hiebei vermieden werden.

Für die Ermittelung der Werte der Unregelmässigkeit beginnen wir mit dem Halten.

Der Strassenbahnbetrieb basiert darauf, dass der einzelne Wagen beim Durchlaufen der Strecke an gewissen Punkten, den Haltestellen, hält. In unserer Fig. 1 sind diese im vorliegenden Falle, wie fast immer bei elektrischem Betrieb nach einer festen Disposition angenommenen Haltestellen unter dem Diagramm angegeben, und zwar für Hinfahrt und für Rückfahrt.

Befindet sich ein Wagen an der markierten Stelle, so hält er, d. h. der Strom wird plötzlich Null. Nehmen wir weiter an, dass das Halten (eigentlich die Stromlosigkeit) eine bestimmte Zeit, z. B. $^1/_2$ Minute, dauert, so geht diese Zeit für die Fahrt verloren. Um daher die dem Diagramm zu Grunde gelegte m i t t l e r e Geschwindigkeit innezuhalten, muss der Wagen ausserhalb der Haltestellen schneller fahren, d. h. die e f f e k t i v e Geschwindigkeit ist grösser. Addiert man alle Haltezeiten während einer Fahrt und zieht den Betrag von der Fahrzeit ab, so erhält man die wirkliche Zeit für die Fahrt und daraus die effektive Geschwindigkeit bezw. den Zuschlag, oder die Zahl, grösser als 1, mit der die Leistung zu multiplizieren ist.

Das Wiederanfahren nach dem jedesmaligen Halten bedingt eine erfahrungsgemäss erhebliche Steigerung der Zugkraft. Da nun die Zugkraft des Hauptstrommotors mehr als proportional der Stromstärke wächst, und da die Vermehrung der Anfahrleistung sich nur auf die Reibung, nicht aber auf die Steigung bezieht, so wollen wir der Einfachheit wegen eine Vermehrung der Stromstärke im Mittel auf das 1,5fache annehmen.

Ein weiterer Punkt, der beachtet werden muss, ist der, dass am Fusse von zu durchfahrenden Bergen (Steigungen) mehr Strom eingestellt werden muss, um die Geschwindigkeit nicht zu sehr zu mässigen. Nun wird einmal der Wagenführer den Beginn des Berges gewöhnlich erst merken, wenn die Geschwindigkeit schon nachlässt, dann aber wird die Nachstellung des Reguliermechanismus für den Motor zunächst einen Ueberschuss ergeben müssen um die erforderliche Beschleunigung zu erhalten. Beides wirkt, wie beim Anfahren, dahin, dass die Stromstärke ansteigt. Wir wollen bei mittleren Strassenbahnwagen einen Aufwand von 2,5 PS für Beschleunigung annehmen.

Digitized by Google

Endlich sind die Kurven zu berücksichtigen. Dieselben vermehren die Reibung erheblich und sollen im folgenden in der Weise berücksichtigt werden, dass ein Mehraufwand von 5 PS bei mittleren Kurven angenommen wird. In Wirklichkeit sind natürlich die beiden letztgenannten Faktoren von dem Wagengewicht etc. abhängig.

Ueberhaupt muss betont werden, dass die hier angesetzten Zahlenwerte nicht durchaus massgebend sind, sondern nur als Beispielswerte angenommen wurden.

Behandeln wir jetzt ein Diagramm nach den vorstehenden Gesichtspunkten, so haben wir folgendes zu thun.

Wir wählen ein Zeitmoment.

1. Wir stellen fest, welche Wagen halten und rechnen für dieselben die Leistung Null.

2. Das Schnellerfahren ergibt sich, wie früher aufgeführt, rechnerisch.

3. Wir multiplizieren die Diagrammwerte für die anfahrenden Wagen mit 1,5.

4. Die Wagen, welche am Fusse eines Berges stehen, erhalten einen Zuschlag von 2,5 PS.

5. Die Stellungen, welche in Kurven und Weichen liegen, werden um 5 PS erhöht.

Entwerfen wir eine Tabelle für die Wagen und die angegebenen 5 Umstände und zählen die so erhaltenen Einzelwerte zusammen, so erhalten wir je nach der Wahl des Zeitmomentes sehr verschiedene Werte für die Summe.

Wählt man die grösste vorkommende Summe, so kann man sie als denjenigen Wert bezeichnen, welchen die Maschinenleistung (unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Gesamtanlage) mindestens besitzen muss.

Wir wollen nun untersuchen, wie man den wirklichen Maximalwert, der für die Maschine gilt, rechnerisch ermitteln kann.

Wir tragen hier zunächst nach, dass unser Kraftdiagramm gestattet, aus den Flächen den wirklichen Mittelwert L_m, welcher etwas oberhalb L_h liegt, zu ermitteln, unter Berücksichtigung, dass der Teil der Leistungen, welcher negativ ist, d. h. unter die Nulllinie fällt, durch Bremsung verloren geht.

Wir können nun sagen, dass die Abweichung der nach der letzten Methode tabellarisch gewonnenen Werte von L_m so unregelmässig ausfällt, je nachdem das Zeitmoment gewählt wird, dass wir diese Abweichungen mit denjenigen Differenzen oder Fehlern vergleichen können,

Digitized by Google

die z. B. bei irgend welchen physikalisch beobachteten Werten auftreten. Die Abweichungen lassen sich daher nach der Methode der kleinsten Quadrate behandeln.

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung ergibt in ihren mathematischen Normen, dass der wahrscheinlichste Wert des mittleren Fehlers ist

$$\sqrt{\frac{\Sigma(\Delta^2)}{m - n}}$$

wenn Δ die Abweichungen und m die Anzahl der beobachteten Werte ist; n ist die Anzahl der Constanten in der Abhängigkeitsgleichung.

Ferner ist der wahrscheinlichste Wert des wahrscheinlichen Fehlers

$$0{,}674 \,.\, \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta^2)}{m - n}}.$$

Dieses ist also in unserem Fall derjenige Wert einer Abweichung von L_m, dem wirklichen mittleren Kraftbedarf, welcher bei allen möglichen Aenderungen wahrscheinlich ebenso leicht überschritten wie nicht erreicht wird.

Wir benutzen diesen Grundsatz folgendermassen:

Die Werte der nachstehenden Tabellen unter der Ueberschrift L geben die nach dem erläuterten Verfahren ermittelten Leistungen. Die Differenzen dieser Werte gegen L_m stehen unter Δ.

Wir erheben die Differenzen Δ ins Quadrat und summieren die Quadrate. Wir nehmen hier $n = 1$ an, dividieren $\Sigma(\Delta)^2$ durch die Zahl $m - 1$ und multiplizieren die Wurzel mit 0,674. Dann haben wir die wahrscheinliche Differenz gegen L_m gefunden.

Die wahrscheinliche Maximalleistung ergibt sich dann nach der Gleichung

$$M = \left(0{,}674 \,.\, \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta^2)}{m - 1}} + L_m\right) . \, g \, . \, \frac{1}{\eta},$$

worin g die Anzahl der gleichzeitig unterwegs befindlichen Wagen (d. h. der Wagen abzüglich Standwagen an den Enden) ist und η der Totalwirkungsgrad der Anlage zwischen Dampfmaschine und Wagenachse.

Die nachstehenden vier Tabellen zeigen diese Ermittelungen für vier verschiedene Momente.

Digitized by Google

Tabelle I.

Wagen Nr.	Diagramm PS	1	2	3	4	5	6	L	Δ	Δ^2
1	+ 14	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
2	+ 3,6	—	—	1,5	—	—	+ 2	7,4	− 4,5	20,25
3	+ 3	—	1.15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	72
4	+ 3	—	—	1,5	—	—	—	4,5	+ 7,4	54,5
5	+ 20,25	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
6	+ 19	—	1,15	—	—	—	—	21,8	+ 9,9	98
7	+ 16	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
8	+ 19,75	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
9	+ 11,75	—	1,15	—	—	—	—	13,5	+ 1,6	2,56
10	+ 13	—	1,15	—	—	—	—	19,95	+ 8,05	65
11	+ 19,75	—	1,15	—	—	—	—	22,7	+ 10,0	108
12	+ 23,5	—	1,15	—	—	—	—	27	+ 11,6	135
13	+ 18,5	—	1,15	—	—	—	—	21,3	+ 9,4	88
14	+ 20,5	—	1,15	—	—	—	—	23,5	+ 11,6	135
15	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	—
16	+ 32,5	—	1,15	—	—	—	—	37,3	+ 25,4	650
								205,75		2066,01

$L_h = 11,7$ $L_m = 11,9$ $g = 14$ $\eta = 0,65$

$$M = \left(0,674 \, . \sqrt{\frac{\Sigma\,(\Delta^2)}{m-1}} \quad L_m\right) . \, g \, . \, \frac{1}{\eta}$$

$M = 425.$

Tabelle II.

Wagen Nr.	Diagramm PS	1	2	3	4	5	6	L	Δ	Δ^2
1	+ 3,6	—	1,15	—	—	—	—	4.15	+ 8,75	76,5
2	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	72
3	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3.45	+ 8,45	72
4	+ 20,25	0	—	—	—	—	—	0	− 11,9	142
5	+ 18,5	—	1,15	—	+ 2,5	+ 5	—	28,8	+ 16,9	285
6	+ 23,5	—	1,15	—	+ 2,5	—	—	29,3	+ 17,4	305
7	+ 18,75	—	—	1,5	—	—	—	28,1	+ 16,2	265
8	+ 16,2	—	1,15	—	—	—	—	18,6	+ 6,7	45
9	+ 10,4	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
10	+ 11,75	—	1,15	—	+ 2,5	—	—	16	+ 4,1	17
11	+ 19,75	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
12	+ 19,75	—	1,15	—	—	—	—	22,7	+ 10,8	108
13	+ 20,5	—	1,15	—	—	—	—	23,6	+ 11,7	138
14	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	72
15	− 8,9	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
16	+ 14	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
								281,60		2165,5

$M = 430$

Digitized by Google

Tabelle III.

Wagen Nr.	Diagramm PS	1	2	3	4	5	6	L	Δ	Δ^2
1	+ 24,5	—	1,15	—	—	—	—	28,2	+ 16,3	265
2	+ 20,25	—	1,15	—	—	—	—	23,3	+ 11,4	130
3	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	− 8,45	71
4	+ 20,25	—	1,15	—	—	+ 5	—	23,3	+ 11,4	130
5	+ 2,7	—	1,15	—	+ 2,5	+ 5	—	10,6	− 1,3	1,7
6	+ 4,9	—	1,15	—	—	—	—	5,65	+ 6,25	39
7	+ 18,8	—	1,15	—	+ 2,5	+ 5	—	29,1	+ 17,2	297
8	+ 3,75	—	1,15	—	—	+ 5	—	9,3	− 2,6	6,8
9	+ 10,4	0	—	1,5	—	—	—	—	− 11,9	142
10	+ 19,1	—	—	—	—	—	—	28,65	+ 16,66	277
11	+ 19,75	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
12	+ 19,75	—	1,15	—	+ 2,5	—	—	25,2	+ 13,3	178
13	+ 20,25	—	1,15	—	—	—	—	23,3	+ 11,4	130
14	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	+ 8,45	71
15	− 1	—	1,15	—	—	—	—	− 1,15	− 13,05	170
16	+ 14	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
								212,35		2192,5

M = 440

Tabelle IV.

Wagen Nr.	Diagramm PS	1	2	3	4	5	6	L	Δ	Δ^2
1	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	− 8,45	71
2	+ 3	—	1,15	—	—	—	—	3,45	− 8,45	71
3	+ 5,1	—	1,15	—	—	—	—	5,86	− 6,04	36,5
4	+ 18,5	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
5	+ 20,5	—	—	1,5	+ 2,5	—	—	33,8	+ 21,4	460
6	+ 12,25	—	1,15	—	—	—	—	14,1	+ 2,2	4,84
7	+ 18,4	—	1,15	—	—	—	—	21,2	+ 9,3	86,5
8	+ 0,1	—	1,15	—	—	—	—	0,15	− 11,75	138
9	+ 11,5	—	1,15	—	+ 2,5	—	—	15,7	+ 3,8	14,4
10	+ 10,4	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
11	+ 3,9	—	1,15	—	—	—	—	4,5	− 7,4	55
12	+ 19,75	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
13	+ 20,5	—	1,15	—	—	—	—	23,6	+ 11,7	137
14	+ 19,75	—	1,15	—	—	—	+ 5	27,8	+ 15,9	254
15	+ 14	0	—	—	—	—	—	—	− 11,9	142
16	+ 8,75	—	1,15	—	—	—	—	10,1	− 1,8	3,25
								163,21		1899,49

M = 420.

Mittel aus Tabelle I bis IV:

M = 429.

Digitized by Google

In den Tabellen bedeutet:

1. Anhalten,
2. Schnellerfahren,

17 Haltestellen à 0,5 Minuten . .	8,5	Min.
durchschnittlich die Hälfte . . .	4,25	„
Fahrzeit	34	„
Differenz	29,75	Min.

Daher effektive Geschwindigkeit

$$\frac{34}{29,75} \cdot 15 = 17 \text{ km pro Stunde,}$$

$$\text{Koeffizient } \frac{17}{15} = 1,15.$$

3. Anfahren,
4. Beschleunigen am Fusse des Berges,
   Koeffizient 1,5
5. Kurven + 5 PS
6. Weichen.

Die erörterte Rechnung begründet sich auf die Abweichung von L_m, der mittleren Effektivleistung.

Wir wollen nun zeigen, dass man auch auf ganz anderem Wege nach einem ähnlichen Verfahren mit gleichen Grundsätzen M ermitteln kann.

Nehmen wir die Summen von L in den 4 Tabellen, so erhalten wir 4 sehr verschiedene Werte. Bilden wir deren Mittel und rechnen die Differenzen der Werte gegen ihr eigenes Mittel aus, so bekommen wir die wirklichen Abweichungen vom Mittel der Beobachtungen.

Wir können nun sagen, es sind noch eventuell viel grössere Abweichungen vom Mittel möglich, als die 4 Tabellenwerte ergeben haben.

Setzen wir jetzt voraus, dass solche Stromstärken, die nicht wenigstens eine Minute dauern, uns nicht in Bezug auf die erforderliche Maschinenleistung interessieren, und dass z. B. Zehnminutenverkehr stattfindet, so ergibt sich, dass unter den 10 Minuten, die eine Periode bilden, ein Zehntel der Zeit diese Stromstärke besitzen muss.

Wir bekommen nun die mittlere Abweichung vom Mittel der Beobachtung in ähnlicher Weise wie früher als

Digitized by Google

$$\sqrt{\frac{\Sigma(\delta^2)}{m}},$$

und den wahrscheinlichsten Wert der wahrscheinlichen Abweichung (d. h. derjenigen, die unter den verschiedenen Kombinationen, bezw. Zeitmomenten die wahrscheinlichste ist)

$$0{,}674 \cdot \sqrt{\frac{\Sigma(\delta^2)}{m}}.$$

Nun lehrt die Wahrscheinlichkeitsrechnung weiter, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Abweichung z. B. das 2,5-fache der wahrscheinlichen Abweichung nicht überschreitet, 0,908 ist oder rund 90 %.

Wir sahen aber eben, dass bei Zehnminutenverkehr ein Zehntel der Zeit den Wert der grössten Abweichung haben muss.

Bringen wir dies mit dem Wahrscheinlichkeitssatz in Verbindung, so erkennen wir, dass es dann wahrscheinlich ist, dass mindestens 9 Zehntel der Zeit eine hier zu betrachtende maximale Abweichung von dem Mittel der Beobachtungen nicht überschreitet, wenn diese maximale Abweichung das 2,5-fache von der wahrscheinlichen Abweichung ist.

Das heisst, ins Praktische übersetzt, wenn P_m das Mittel der Beobachtungen ist, wird

$$M = \left(0{,}674 \cdot \sqrt{\frac{\Sigma(\delta^2)}{m}} \cdot \alpha + P_m\right) \cdot \frac{1}{\eta}.$$

Hierin ist α der im Beispiel gleich 2,5 ermittelte Faktor.

Da nun nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung zur Wahrscheinkeit 0,908 der 2,5-fache Betrag der wahrscheinlichen Abweichung gehört, zur Wahrscheinlichkeit 0,950 aber der 2,9fache Betrag und dieser Wert dem Zwanzigminutenbetrieb entspricht u. s. w., so ist zu nehmen für

Fünfminutenbetrieb . .	$\alpha = 1{,}9$
Zehnminutenbetrieb . .	$\alpha = 2{,}5$
Fünfzehnminutenbetrieb .	$\alpha = 2{,}7$
Zwanzigminutenbetrieb .	$\alpha = 2{,}9$

Nach den Tabellen ist die Totalleistung:

Digitized by Google

$$\begin{aligned} P &= 205{,}75 \\ P &= 281{,}60 \\ P &= 212{,}35 \\ P &= 163{,}21 \\ \hline P_m &= 215 \end{aligned}$$

und bei $\eta = 0{,}65$ und Zehnminutenbetrieb

$$M = 413,$$

ein Wert, der praktisch von dem nach der ersten Methode gefundenen $= 429$ nicht wesentlich verschieden ist.

Bestimmung der Maschinengrösse nach einer Tabelle.

Die beschriebenen beiden Methoden setzen eine mehr oder weniger ausführliche Benutzung der gegebenen Steigungs-Nivellements, des Fahrplanes und der weiteren Unterlagen voraus. Es ist nun nach den früheren Erörterungen wünschenswert, mit möglichst wenig Mühe das Ziel zu erreichen und die eingehenden Rechnungen möglichst zu vermeiden.

Dieser Zweck wird am besten in der Weise verfolgt, dass man unter Benutzung von Erfahrungs- und rechnerischen Werten eine Tabelle aufstellt. Diese ist dann auch für schnelle ungefähre Ermittelung sehr vorteilhaft.

Die nachstehend mitgeteilte Tabelle des Verfassers nimmt zugleich auf den Umstand Rücksicht, dass je nach dem Grade der vorkommenden Steigungen verschiedene Motorenausrüstungen für Strassenbahnwagen zur Anwendung kommen.

Der Gang der Bestimmung mit Hilfe der Tabelle ist daher der, dass man nach der vorkommenden stärksten Steigung zunächst das Wagenmodell feststellt. Dann ergibt die Tabelle die erforderliche Leistung pro Wagen und zwar je nach den Steigungsverhältnissen der Gesamtstrecke; die Motorenleistung ist als die maximale zu verstehen, während die Dauerleistung kleiner ist.

Es wird hiebei der Begriff der mittleren Steigung, von dem bereits früher die Rede war, eingeführt, jedoch mit der Massgabe natürlich, dass ihm nicht eine direkte rechnerische Bedeutung beigelegt wird, sondern dass derselbe nur als Anhalt für die Aenderungen der Stromstärke und demgemäss für die Maschinenleistung dient.

Die Tabelle ist geordnet einmal nach den Wagenmodellen und

Digitized by Google

Tabelle V
über Leistungen und Stromverbrauch von Strassenbahnen.

Spurweite und Motoren	Zahl der Sitzplätze	Zahl der Stehplätze	Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde		Zulässige Steigung bis 1500 m Länge		Zulässige stärkste Steigung bis 200 m Länge		Anzahl der Ampère, für welche die Maschinenleistung pro gleichzeitig fahrenden Wagen bei 15 km mittl. Geschwindigkeit zu bemessen ist								Wagengewicht
									Mittl. Steigung 1 : 300		Mittl. Steigung 1 : 150		Mittl. Steigung 1 : 75		Mittl. Steigung 1 : 50		
			Steig.	Horiz.	ohne Anhängewag.	mit Anhängewag.	ohne Anhängewag.	mit Anhängewag.	ohne Anhängewagen	mit Anhängewagen	ohne Anhängewagen	mit Anhängewagen	ohne Anhängewagen	mit Anhängewagen	ohne Anhängewagen	mit Anhängewagen	
1 m 2 Motoren à 12 PS.	12	12	10—15	15—25	1 : 35	1 : 100	1 : 28	1 : 65	14	23	18	28	24	—	—	—	6,5
Norm. oder 1 m 1 Motor à 20 PS.	14	16	10—15	15—25	1 : 50	1 : 200	1 : 23	1 : 45	14	22	18	—	23	—	25	—	7
Norm. oder 1 m 2 Motoren à 20 PS.	14	16	10—15	15—25	1 : 25	1 : 50	1 : 12	1 : 23	15	24	19	30	25	40	29	48	7,5
Norm. oder 1 m 2 Motoren à 20 PS.	18	20	10—15	15—25	1 : 26	1 : 72	1 : 13	1 : 30	16	25	20	32	26	42	30	50	8
Norm. oder 1 m 1 Motor à 35 PS.	18	20	10—15	15—25	1 : 25	1 : 50	1 : 12	1 : 23	16	25	20	32	26	42	33	53	7,5
Norm. oder 1 m 2 Motoren à 35 PS.	20	20	10—15	15—25	1 : 17	1 : 30	1 : 8	1 : 13	22	31	27	38	36	50	40	60	9

Digitized by Google

zweitens nach den Steigungsverhältnissen. Die Zahlen ergeben dann die Stromstärke in Ampère, welche bei 500 Volt Maschinenspannung und einer mittleren Geschwindigkeit von 15 km pro Stunde pro Wagen zu rechnen ist.

Hiebei ist zu beachten, dass nur die gleichzeitig auf der Strecke fahrenden Wagen zu berücksichtigen sind und dass die Standwagen nicht mitgerechnet werden. Vielmehr ist für diese an den Endpunkten haltenden Wagen ein Strombedarf selbstverständlich nicht nötig. Auch ist deren Zahl durch den Betrieb selbst nicht gegeben, sondern frei zu wählen, da es nur von der Länge der Haltezeit an den Endpunkten abhängt, wie viel Wagen stehen.

Das Kriterium der sogenannten mittleren Steigung reicht nicht aus, die Leistung zu bestimmen, vielmehr ist der Strombedarf abhängig zugleich von der Gesamtzahl der Wagen und fällt besonders gross bei wenigen Wagen aus und kleiner, wenn viele Wagen fahren.

Daher ist der aus der Tabelle entnommene Wert nicht nur mit der Wagenzahl sondern auch noch mit einem Faktor zu multiplizieren. Derselbe ist bei weniger als 4 Wagen = 1,3; bei 4—5 Wagen = 1,2, bei 6—10 Wagen 1,1; bei mehr Wagen 1.

Als Anhalt über die ungefähre Anzahl von Wagen, welche insgesamt auf der Strecke sich befinden, also einschliesslich Standwagen, im Vergleich zu der Zahl der gleichzeitig fahrenden Wagen A, kann dienen, dass die Gesamtzahl

Bei Fünfminutenverkehr um $\frac{200}{A}$,

Bei Zehnminutenverkehr um $\frac{180}{A}$,

Bei Fünfzehnminutenverkehr um $\frac{160}{A}$

Prozent grösser ist als A. Doch ist dies nur ein ungefährer Wert.

Die Tabelle setzt uns in den Stand ohne umständliche Rechnungen direkt die Maschinenleistung zu bestimmen.

Hiebei ist folgendes zu beachten:

Der Tabellenwert ergibt die höchste zu erwartende Stromstärke. Lässt man daher eine minutenlang andauernde Mehrbelastung der Maschine zu, über ihre dauernde Maximalleistung hinaus, so folgt daraus, dass die Maschinen etwas kleiner gewählt werden können, als die Tabelle ergibt, also z. B. um 20 % kleiner. Nimmt man aber direkt den Tabellenwert, so kann man sicher sein, dass die Bahn ohne

Digitized by Google

erhebliche Spannungsschwankung der Maschine und mit vollkommenster Betriebssicherheit arbeitet.

Da die Tabelle sich auf vollbesetzte Wagen und eine mittlere Geschwindigkeit von 15 km pro Stunde bezieht, so ist bei anderen Geschwindigkeiten oder geringerer Belastung der Wagen der Wert proportional zu ändern, vorausgesetzt, dass die Motoren eine vollkommen ökonomische Regulierung auf die angewandte Geschwindigkeit gestatten, was nicht immer der Fall ist.

Beispiel für eine Strassenbahnberechnung.

Die Bahn habe eine mittlere Steigung 1 : 285. Es sei ermittelt, dass bei der zu erreichenden mittleren Geschwindigkeit (gemäss dem Fahrplan) von 12 km pro Stunde 20 Motorwagen mit 18 Sitz- und 20 Stehplätzen erforderlich sind. Von diesen sollen 12 mit Anhängewagen fahren, die grösste Steigung sei 1 : 25 auf 120 m Länge.

Die Tabelle ergibt ein Wagenmodell mit 1 Motor von maximal 35 PS.

Es sind mittlere Steigungen von 1 : 300 und 1 : 150 angegeben. Man erhält durch Interpolation pro Motorwagen mit Anhängewagen 26 Ampère, ohne Anhängewagen 16 Ampère.

Da wir aber nicht mit 15 km sondern mit 12 km pro Stunde fahren, reduzieren sich diese Werte auf 21 Ampère, resp. 13 Ampère.

Es sind daher zu rechnen

	12 . 21 = 252	Ampère
	8 . 13 = 104	„
oder zusammen	356	Ampère.

Dies ist der maximal vorkommende Strom. Es bleibt uns nun noch freie Wahl über die Maschinengrösse, da wir uns über die Zulässigkeit einer Ueberlastung schlüssig zu machen haben.

Wir rechnen zunächst, dass 356 Ampère bei 500 Volt 178 Kilowatt sind, und dies bei 680 Watt pro Pferdestärke ca. 260 PS gleichkommt.

Lassen wir also bei der Dampfmaschine eine Minderleistung von z. B. 20 % und bei der Dynamo von z. B. 30 % zu, so sind demnach

eine Dampfmaschine von maximal 260 . 0,8 = 208 PS und eine Dynamomaschine von 178 . 0,7 = 125 Kilowatt erforderlich.


Digitized by Google

Mit anderen Worten, die Anlage arbeitet so, dass die effektive Stromstärke von 356 Ampère die Dynamo überlastet, die Spannung sinkt dann unter die Normale. Soweit hiebei noch eine Mehrleistung in Watt auftritt als die Dampfmaschine maximal ohne Schwierigkeit durchziehen kann, wird dieselbe überlastet und geht eventuell langsamer, soweit, dass die Zugkraft wieder auf die normale kommt, dadurch, dass Spannung und Stromstärke abnimmt.

Der Gesamterfolg ist der, dass eine Spannungsverminderung eintritt. Dabei ist nicht zu vergessen, dass die Stromstärke ebenfalls abnimmt und so nicht mehr ganz der für 500 Volt geltende Betrag von 356 Ampère zu stande kommt.

Behandlung des Beispieles nach Fig. 1 gemäss der Tabelle V.

Die Höhendifferenz in dem Steigungsnivellement beträgt 95 m, die Gesamtlänge 8230 m, daher mittlere Steigung 1 : 87.

Es fahren 14 Motorwagen à 18 Sitz- und 20 Stehplätze und 14 Anhängewagen gleichzeitig. Jene sind mit 2 Motoren à 20 PS ausgerüstet.

Die Tabelle V, Zeile 4, ergibt pro Motorwagen mit Anhängewagen bei 1 : 75 je 42 Ampère, bei 1 : 150 je 32 Ampère.

Für 1 : 87 erhält man durch Interpolation je 40 Ampère.

Daher sind insgesamt

$$14 : 40 = 560 \text{ Ampère}$$

notwendig, d. h.

$$560 . 500 = 280\,000 \text{ Watt}$$

oder

$$\frac{280\,000}{680} = 412 \text{ PS.}$$

Dieser Wert stimmt mit den nach den beiden früheren Methoden berechneten Werten 429 resp. 413 genügend überein.

Man könnte daher als Maschinenleistung beispielsweise wählen

$$412 . 0{,}8 = 330 \text{ PS maximal}$$
$$330 . 0{,}65 = 215 \text{ PS normal.}$$

Dynamo:

$$280 . 0{,}7 = 200 \text{ Kilowatt normale Maximalleistung.}$$

Digitized by Google

Ausnützung der Maschinen.

Nachdem ermittelt worden ist, welche maximale Stromstärke, bezw. Leistung die Maschinen hergeben müssen, ist jetzt die Frage zu behandeln, wie sollen die Maschinen diesem Maximalwert angepasst werden und mit welchem Grade der Ausnützung arbeiten sie.

Wir haben vorweggenommen, dass eine gewisse Ueberlastung der Maschinen durch zeitweise auftretende Stromstärken zulässig erscheint.

Nun ist aber bekannt, dass Dampfmaschinen eine günstigste Leistung, die sogenannte Normalleistung, besitzen, die weit geringer ist als ihre Maximalleistung. Gewöhnlich ist das Verhältnis der beiden Leistungen etwa 0,65. Es ist daher ohne weiteres verständlich, dass die in den obigen Rechnungen erwähnte Leistung nicht die Normalleistung, sondern höchstenfalls die Maximalleistung ist. Bei den Dynamomaschinen liegt die Sache einfach so, dass ihre Maximalleistung in Betracht kommt, da dieselben bei schwächerer Belastung nicht besser, sondern weniger ökonomisch arbeiten. Auch bei diesen ist eine zeitweilige Ueberschreitung der Maximalleistung eventuell zulässig.

Natürlich fällt jede Ueberschreitung der Leistung zu Ungunsten der Spannung aus, denn diese wird bei Ueberlastung einfach sinken.

Die wirkliche mittlere Belastung der Maschine lässt sich danach beurteilen, um wie viel die Maximalleistung derselben das entsprechende Vielfache von L_m überschreitet. Durch Vergleich der Grösse $L_m \times A$ mit der Maschinenleistung (unter Berücksichtigung des Totalwirkungsgrades z. B. 0,65) wird man erkennen, dass die Maschine im Durchschnitt schwach belastet ist und daher auch ziemlich ökonomisch arbeitet, sobald die volle Wagenzahl daran hängt.

Es knüpft sich hieran naturgemäss die Frage, inwieweit Kondensation, eventuell künstliche, und andere Mittel zur Verringerung des Dampfverbrauches erwünscht oder zulässig sind. In Bezug hierauf muss gleich hervorgehoben werden, dass wir es beim Bahnbetriebe nicht mit einer regelmässigen Ausnutzung, sondern mit einer sehr variablen Belastung zu thun haben. Die oben erwähnte günstige Ausnutzung der Maschine tritt daher nur bei vollem Betriebe ein. Kommen, wie dies gewöhnlich der Fall ist, Zeiten geringeren Betriebes vor, so wird in diesen die Maschine nicht bis zum Maximum belastet und daher durchschnittlich schlecht ausgenutzt sein.

Da nun eine Kondensation bei Dampfmaschinen besonders dann

Digitized by Google

von Nutzen ist, wenn die Maschinen mindestens normal belastet sind, so geht daraus hervor, dass bei Bahnbetrieben mit variabler Frequenz die Anwendung von Kondensation nicht den erheblichen Vorteil bietet, wie in manchen anderen Betrieben.

Ganz besonders macht sich aber dieser Umstand geltend, wenn die Kondensation mit natürlichem Kühlwasser nicht zu betreiben ist, vielmehr zu künstlichen Mitteln, Gradierwerken u. dergl. geschritten werden muss. Die Gradierwerke z. B., welche mit künstlicher Ventilation arbeiten, verbrauchen zum Betriebe des Ventilators und der Wasserpumpe eine nicht unerhebliche Kraftmenge, wodurch die Dampfdynamo, besonders wenn die Energie den genannten Einrichtungen erst auf dem Umwege durch Elektromotoren zugeführt wird, eine bedeutend grössere durchschnittliche Belastung erfährt, als dem vielleicht für gewöhnlich schwachen Bahnbetriebe entspricht. Auch darf in dem letztgenannten Fall nicht ausser Acht gelassen werden, dass die Leistung der Dynamo, welche zum Bahnbetrieb zur Verfügung steht, durch Belastung mit derartigen Elektromotoren verringert wird.

Auch ein Uebelstand für den Betrieb selbst muss erwähnt werden, der nämlich, dass Maschinen mit Kondensation im Leerlauf viel schlechter regulieren, als Auspuffmaschinen. Da aber im Bahnbetriebe immer Momente sehr geringer Belastung vorkommen, so haben dann die Maschinen die Neigung durchzugehen und unregelmässig zu regulieren.

Nichtsdestoweniger wird man in den meisten Fällen Maschinen mit Kondensation anwenden müssen, besonders da Auspuff bei grossen Maschinen häufig nicht zulässig erscheint bezw. nicht gestattet wird.

Bei weniger grossen Betrieben wird man zweckmässig von Kondensation absehen, zumal da die Arbeitsleistung im Leerlauf durch sie vermehrt und der Wirkungsgrad vermindert wird.

Es schliesst sich an diese Erörterung unmittelbar die Frage an, wie man zweckmässig verfährt, um den Kohlenverbrauch bei Bahnen zu ermitteln.

Wir gehen aus von der Thatsache, dass die Maschine eine gewisse Dampfmenge verbraucht, um leerzulaufen. Diese Dampfmenge muss aufgewendet werden, ohne dass irgend eine Nutzleistung dafür entsteht.

Eine weitere, und zwar die gewöhnlichste Angabe bei Dampfmaschinen ist diejenige für den Dampfverbrauch pro indicierte PS bei normaler Belastung, d. h. dem günstigsten, bei ca. dem 0,65fachen der Maximalleistung gelegenen Füllungsgrade. Die Multiplikation ergibt einen bestimmten Wert B.

Digitized by Google

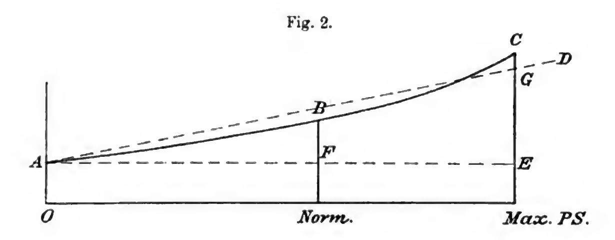
Bei maximaler Leistung endlich ist der Dampfverbrauch pro indicierte PS wieder ein anderer, der Totalverbrauch C.

Trägt man die Werte für die Totaldampfmengen als Funktion der effektiven PS auf, so erhält man die Kurve ABC (Fig. 2).

Die Parallele AE zur Abscissenachse gibt denjenigen Dampfverbrauch an, der im Minimum stets eintritt, die Abschnitte FB und EC den Mehrverbrauch, der normaler bezw. maximaler Belastung entspricht.

Nähert man die Kurve ABC durch die Gerade AD an, so hat man in ihr einen Ausdruck für den durchschnittlichen Mehrbedarf pro effektive PS, und zwar ist derselbe $= \frac{EG}{\max PS} = m$.

Fig. 2.



Die Berechnung des Kohlenverbrauches gestaltet sich nach diesen Ermittelungen einfach, wie folgt:

Die Betriebszeit Z der Maschine pro Jahr ist bekannt, daher ist für Leerlauf (Mindestbedarf) ein Dampfverbrauch von Z . A erforderlich.

Seien nun die abzugebenden Wattstunden W bekannt, und η der durchschnittliche Wirkungsgrad der Dynamo, der hier natürlich viel kleiner ist als der maximale, da die Maschine schlecht ausgenutzt wird, so kommen $\frac{W}{736 \cdot \eta} \cdot m$ kg Dampf hinzu.

Der durchschnittliche Wirkungsgrad η lässt sich berechnen, wenn der Verlust in der Maschine = v Watt angenommen wird:

$$\eta = \left(\frac{W}{Z} - v\right) \cdot \frac{1}{\frac{W}{Z}} = 1 - \frac{v \cdot Z}{W}.$$

Der Gesamtverbrauch ist daher

$$Z \,.\, A + \frac{W \,.\, m}{736 \,.\, \eta}$$

und, wenn man p Prozent für Anheizen rechnet und bei der durchschnittlichen Belastung eine Erzeugung von n kg Dampf pro 1 kg Kohle, so sind

$$\frac{\left(Z \,.\, A + \frac{W \,.\, m}{736 \,.\, \eta}\right) \cdot \frac{100 + p}{100}}{n}$$

Kilogramm Kohle pro Jahr zu verheizen.

Verbrauch pro Wagenkilometer.

Wir haben soeben zur Berechnung des Kohlenbedarfs den Verbrauch an Wattstunden zu Grunde gelegt. Ein bequemer Begriff zur Ermittelung der Wattstunden pro Jahr ist derjenige der Wattstunden pro Wagenkilometer.

Diese Grösse lässt sich leicht aus den Faktoren der Grundformel ableiten. Die Leistung ist nach derselben

$$L = \frac{(f + s) \,.\, T \,.\, v}{75} \quad PS,$$

oder, führen wir die Geschwindigkeit in Kilometer pro Stunde K ein,

$$L = \frac{(f + s) \,.\, T \,.\, K}{3{,}6 \,.\, 75} \quad PS.$$

Wird eine Strecke mit verschiedenen Steigungen s hin und zurück durchfahren und sind jene Steigungen so gering, dass stets s kleiner als f ist, so sind pro Stunde $\frac{f \,.\, T \,.\, K}{3{,}6 \,.\, 75}$ PS.-Stunden aufzuwenden.

Beträgt der Wirkungsgrad des Motors mit Räderübersetzung 0,8, so sind pro Stunde $\frac{f \,.\, T \,.\, K \,.\, 736}{3{,}6 \,.\, 75 \,.\, 0{,}8}$ Wattstunden oder pro Kilometer $\frac{f \,.\, T \,.\, K \,.\, 736}{3{,}6 \,.\, 75 \,.\, 0{,}8 \,.\, K}$ Wattstunden erforderlich, oder kürzer $\frac{f \,.\, T \,.\, 736}{3{,}6 \,.\, 75 \,.\, 0{,}8}$ Wattstunden pro Wagenkilometer.

Nehmen wir ein mittleres Wagengewicht eines mittel besetzten gewöhnlichen Strassenbahnwagens von 6 t an und $f = 15$, so erhalten wir $\frac{15 \,.\, 6 \,.\, 736}{3{,}6 \,.\, 75 \,.\, 0{,}8} = 317$ Wattstunden pro Wagenkilometer.

Digitized by Google

Es zeigen nun fast alle Strassenbahnen einen mindestens ebensogrossen Wattstundenverbrauch. Daraus folgt, dass unter Innehaltung des Wirkungsgrades für den Motor, der mittlere (d. h. einschliesslich Anfahren etc. ermittelte) Koëffizient 15 angemessen und nicht zu hoch erscheint, und umgekehrt, ist der Koëffizient f nicht grösser als 15, so belehrt uns der etwaige Mehrverbrauch an Wattstunden über den Grad der unökonomischen Motorenregulierung.

Die Firma Aktiengesellsch. Elektric.-Werke vorm. O. L. Kummer & Co. hat bei der von ihr gebauten Bahn Blasewitz-Laubegast den Mittelwert 325 Wattstunden pro Wagenkilometer festgestellt. Dies ist ein Beweis für ökonomische Regulierung. Zahlen von 400 und mehr weist sonst die Bahnpraxis häufig auf.

Voraussetzung für unsere Ermittelung war, dass die Steigungen gering sind, oder doch die stärkeren so kurz, dass sie praktisch keine Rolle spielen.

Sind starke Steigungen vorhanden und wird das gewöhnliche System der mechanischen Bremsung angewendet, so ist ein Mehrbedarf gegenüber der angeführten Formel notwendig, der durch die Energievernichtung beim Bremsen bedingt ist, und der sich aus dem Kraftdiagramm ermitteln lässt, und zwar durch den Quotienten $\frac{L_m}{L_h}$.

Die angeführten Formeln für die Wattstunden sind ohne weiteres zu benützen, wenn es sich um die Berechnung von Accumulatoren handelt, sei es für reinen automobilen oder für gemischten Betrieb, und zwar ist hiebei stets das Verhältnis $\frac{L_m}{L_h}$ zu berücksichtigen. Ausserdem muss die Batterie im stande sein, die höchsten vorkommenden Stromstärken anstandslos herzugeben.

Wiedergewinnung der Bremsenergie.

Da wir soeben gesehen haben, dass der Verbrauch an Wattstunden pro Wagenkilometer bei Bahnen mit starken Steigungen wesentlich durch die Bremsverluste gesteigert wird, so erscheint es wünschenswert, diese Verluste zu vermeiden und die durch Bremsung verloren gehende Energie zu sparen, bezw. wiederzugewinnen.

Dies setzt voraus, dass die Wagen bei der Thalfahrt unter Gewinnung von Strom arbeiten. Es ist daher eine Einrichtung zu treffen, welche die Motoren befähigt als Dynamos zu funktionieren. Nun sind aber die, wie oben festgestellt, für Strassenbahnbetrieb bei weitem

Digitized by Google

geeignetsten Motoren, die Hauptstrommotoren, an sich nicht befähigt Strom zu erzeugen und diesen Strom zu verwerten.

Der Verfasser hat eine Anordnung erdacht, welche dies ermöglicht. Dieselbe ist der Akt.-Gesellsch. Elelektric.-Werke vorm. O. L. Kummer & Co. patentiert und besteht in folgendem:

Im Motorwagen werden einige Accumulatorenzellen einer kleinen transportablen Type untergebracht, welche während der Bergfahrt so in den Hauptstrom eingeschaltet werden, dass sie sich durch denselben laden. Bei der Thalfahrt wird der Anker des Motors direkt an die Leitung (Oberleitung und Schienen) angeschlossen, die kleine Hilfsbatterie aber auf die Schenkelwickelung des Motors geschaltet. Hiedurch erhält der Motor (oder die Motoren) den erforderlichen Magnetismus und ist so befähigt, Strom zu erzeugen, der ohne weiteres nutzbar wieder in die Leitung geführt werden kann. Geht derselbe in die oberirdische Leitung, so fliesst er den berganfahrenden Wagen zu und entlastet dadurch die Betriebsmaschine. Ebenso ist es natürlich möglich eine stationäre Batterie an die Leitung anzuschliessen und durch den wiedergewonnenen Strom zu laden oder eine im Wagen selbst befindliche und dauernd (wie bei reinem Accumulatorenbetrieb) oder zeitweise (wie bei gemischtem Betrieb mit Accumulatoren und Oberleitung) den Betriebsstrom liefernde Batterie die Bremsenergie aufnehmen zu lassen.

Diese Bremseinrichtung mit Stromwiedergewinnung hat nicht nur den genannten Vorteil, dass der Stromverbrauch bei der Bahn, also die laufenden Unkosten, verringert wird, sondern man kann auch kleinere Betriebsmaschinen und schwächere Stromzuführungsleitungen verwenden. Sehr wesentlich ist auch der Umstand, dass man dadurch den erheblichen Verschleiss an Bremsklötzen und Radreifen vermeidet, der bei mechanischer Bremsung naturgemäss dadurch entsteht, dass die verloren gehenden Wattstunden zur Zerstörung des Materials verwendet werden.

Die Anordnung hat den Vorzug, dass alle sonst üblichen Einrichtungen, besonders die Motoren, ohne Aenderung beibehalten werden können, und dass jede Steuerungseinrichtung Verwendung finden kann. Auch arbeitet sie ganz selbstthätig in Bezug auf die Stromlieferung, reguliert selbst den Bremsungsgrad und verhindert ein Durchgehen der Wagen bei der Thalfahrt.

Digitized by Google

Fortleitung des Stromes.

Es ist leicht einzusehen, dass die übliche Betriebsspannung von 500 Volt so gewählt ist, dass bei gewöhnlichen Verhältnissen das Auftreten sehr hoher Spannungsverluste nicht gerade zu befürchten ist. Es kommt noch hinzu, dass der Fahrdraht zweckmässig ohne Rücksicht auf Stromverhältnisse einen Querschnitt von 50 qmm erhält und dass derselbe am besten aus hartgezogenem Kupfer besteht.

Wollte man jedoch daraufhin die Bahnen ohne Berechnung der Spannungsverluste in jedem einzelnen Fall projektieren, so würde man trotzdem auf unerwünschte Verhältnisse kommen.

Man kann nun zwar weiter sagen, der Betrieb einer Bahn erscheint auch bei weniger guten Spannungsverhältnissen immer noch möglich, doch darf nicht vergessen werden, dass einmal die Wagen elektrische Beleuchtung erhalten und dass es einen sehr schlechten Eindruck macht, wenn die Lampen bald weissglühend sind, bald kaum noch leuchten — denn so krass drückt sich beim Glühlicht die Spannungsdifferenz aus — und dass es zweitens auch für den regulären Betrieb, für die Motoren und für die Regulierorgane durchaus nicht gleichgültig ist, wie stark die Spannung schwankt.

Alle diese Umstände zwingen zu einer genauen Kalkulation der Spannungsverhältnisse.

Man kann nun etwa folgenden allgemeinen Grundsatz aufstellen: Ist die Bahn, wie dies bei elektrischem Betrieb durchaus zu empfehlen ist, zweigeleisig oder hat sie wenigstens zwei Fahrdrähte, so kann man bis 2,5 km Strassenbahnstrecke einseitig mit Strom versorgen und dabei einen Fünfminutenverkehr bewältigen, vorausgesetzt, gewöhnliche mittlere Verhältnisse. Ebenso ist bei eingeleisiger Bahn einseitige Speisung von 1,25 km Strecke zulässig. D. h. also z. B. eine zweigeleisige Bahn von 5 km Länge, deren Werk in der Mitte liegt, kann bei diesem direkt die Stromzuführung erhalten.

Es ist nicht ratsam, bei seltenerem als Fünfminutenverkehr die gespeiste Strecke wesentlich grösser zu nehmen.

Handelt es sich um längere Bahnen oder noch intensiveren Verkehr oder besondere Stromverhältnisse, so sollte man die Bahn mit mehreren Zuleitungen versehen.

Bei grossen Betrieben macht auch noch ein anderer Umstand diese Anordnung wünschenswert.

Es empfiehlt sich nämlich, eine grosse Bahnanlage in Teilstrecken

Digitized by Google

zu zerlegen und jede Teilstrecke mit einer besonderen Stromzuführung zu versehen. Die Teilstrecken werden dann im normalen Betriebe durch Handausschalter miteinander verbunden, können aber bei Betriebsstörungen jede für sich ausgeschaltet werden. Handelt es sich um insgesamt geringe Stromstärken, so können die Ausschalter auf der Strecke als selbstthätige Maximalausschalter ausgebildet werden. Im Werk werden zweckmässig stets Maximalausschalter und Handausschalter angewendet, damit man, wenn die selbstthätigen ausgeschaltet haben, erst durch die Handausschalter die Verbindung ausschalten und dann die Selbstausschalter einlegen kann. Das darauffolgende Einschalten des Handausschalters ist dann auch, wenn noch Kurzschluss auf der Strecke ist, ungefährlich, da die Selbstausschalter momentan funktionieren.

Ist die erwähnte Bildung von Teilstrecken vorgenommen, so hat man die für jede erforderliche Fernleitung zu berechnen.

Es bedarf nun keiner besonderen Erklärung, dass es am besten ist, alle Fernleitungen auf gleichen Spannungsverlust zu dimensionieren. Dadurch wird, genau wie bei Lichtleitungsnetzen, eine überall nahezu gleiche Spannung gewährleistet, und somit eine tadellose Beleuchtung und gleichmässiger Betrieb.

Eine weitere Frage ist die, welche Stromstärken und welche Verluste, sowie endlich welche Belastung mit Ampère pro Quadratmillimeter man zu Grunde legen soll.

Wir haben, wie wir bereits sahen, zwei hauptsächliche Grössen zur Beurteilung, die mittlere Stromstärke und die maximale Stromstärke. Der gesamte Maximalstrom ist uns durch die vorher vorzunehmende Bestimmung der Maschinengrösse bekannt. Die mittlere Stromstärke ist durch die Grösse L_m gegeben.

Es ist nun klar, dass die Maximalstromstärke, welche ja sehr oft und immer wieder auftritt, den maximalen und direkt zu beobachtenden Spannungsverlust bedingt. Demgegenüber hat der mittlere nur geringes oder gar kein Interesse.

Es folgt daraus, dass man die Leitungen nach der Maximalstromstärke berechnen soll.

Sind die Betriebsverhältnisse überall gleich, und hängen die Fahrdrahtstrecken, wie normal, zusammen, so genügt eine Verteilung der Gesamtampère auf die Teilstrecken je nach ihrer Länge. Ist der Betrieb auf verschiedenen Strecken ungleich, oder hängen sie nicht zusammen, so sind andere, und zwar in jenem Fall dem Betrieb proportionale, in diesem Fall den Betriebsungleichheiten auf jeder Strecke

Digitized by Google

entsprechende Ströme in Ansatz zu bringen. Ein Urteil über den Teilstrom geben uns ferner die mittleren Steigungen. Bei getrennten Teilstrecken sind ausserdem die Einzelmaximalströme bedeutend grösser als bei zusammenhängenden Strecken.

Es ist nun wünschenswert, bei dem richtig ermittelten Maximalstrom einen Verlust von 50 Volt nicht zu überschreiten. Kann derselbe kleiner gehalten werden, so ist dies von Vorteil. Eine zweckmässige Beanspruchung der Fernleitungen ist im Durchschnitt 1 Amp. pro Quadratmillimeter.

Handelt es sich um Kabel, so ist ausserdem die Bedingung einzuhalten, dass sich die kürzeren Fernleitungskabel nicht unzulässig erwärmen und daher deren Querschnitt nach der Belastung zu wählen oder abzuändern. Treten hiedurch merkliche Verschiebungen in den Spannungen ein, so wird zweckmässig etwas Widerstand vorgeschaltet, schon um die kurzen Kabel nicht dadurch noch mehr zu belasten. Der Energieverlust, der sich nicht nach der maximalen Stromstärke, sondern nach dem Mittelwert $\Sigma i^2 . W$ richtet, ist hiebei nicht wesentlich.

Zu dieser Rechnung ist noch zu bemerken, dass eine sehr genaue Dimensionierung der Fernleitungen nicht nötig ist, sondern Differenzen von z. B. 10 Volt rechnungsmässigem Spannungsverlust zulässig sind.

Bisher war nur von den Zuleitungen zum Fahrdraht die Rede. Da nun aber die Schienen ebenfalls zur Stromzuführung dienen, oder, wie man sich ausdrückt als Rückleitung benutzt werden, so erhöht sich der Spannungsverlust noch dadurch. Hiebei ist zu beachten, dass der wirkliche Spannungsverlust in den Schienen erheblich grösser sein kann als sich nach dem Querschnitt der Schienen berechnet.

Wählen wir nun als Maschinenspannung, wie in der Tabelle V angenommen, 500 Volt, so können wir darauf rechnen, dass die Spannung am Fahrdraht durchschnittlich über 450 liegt, aber zeitweise darunter geht, wenn die Maschinenspannung auf 500 Volt gehalten wird. Wird eine Spannung von 500 Volt auf der Strecke gehalten, so liegt die Spannung der Maschine entsprechend höher. Mit Hilfe von übercompoundierten Dynamos ist man im stande, bei einem nach obigen Angaben disponierten Leitungsnetz die Spannung auf der Strecke sehr befriedigend konstant zu halten. Bei Nebenschlussmaschinen sind Schwankungen von 100 Volt sicher zu erwarten, da zu dem Leitungsverlust noch der Abfall der Dynamos hinzukommt.

Wir erwähnten eben, dass der Spannungsverlust in den Schienen

Digitized by Google

sich nicht direkt aus den Eisendimensionen ableiten lässt. Hiezu kommt noch der Umstand, dass die in den Schienen fliessende Stromstärke nicht mit derjenigen im Fahrdraht übereinstimmt, weil die Erde ebenfalls befähigt ist, Strom zu leiten und daher als Nebenschluss zu der Schienenleitung funktioniert.

Man könnte dies als besonderen Vorteil betrachten, wenn nicht diese abgeleiteten Nebenströme auf andere Einrichtungen störend einwirkten. Sie veranlassen aber, dass an Gas- und Wasserleitungsröhren eventuell, falls erhebliche Strommengen in Betracht kommen, unnatürliche Abnutzungen eintreten, sie machen sich ferner im Telephonverkehr mit Einzeldrahtleitungen bemerkbar und endlich stören sie die physikalischen und ähnliche Institute.

Es ist nun ganz natürlich und bedarf gar keiner besonderen Ueberlegung, dass man genau so wie beim Fahrdraht gemäss unseren früheren Auseinandersetzungen, auch bei den Schienen eine gewisse Gleichheit des Potentials hervorbringen kann, indem man den Schienen den Strom ebenfalls nicht an einer, sondern an mehreren Stellen zuführt und demgemäss ein ebensolches Fernleitungssystem nach den Schienen anlegt wie nach dem Fahrdraht. Diese isolierten Kabel verteuern jedoch die Anlage derartig, dass man nicht leicht dazu schreiten wird sie anzuwenden. Blanke Leitungen können aber in diesem Sinne nicht viel helfen.

Sind die Erdströme in erheblichem Masse vorhanden, so kann man ihre störenden Wirkungen, besonders auf empfindliche physikalische Instrumente nicht ohne weiteres beseitigen. Vielmehr bedarf man dazu besonderer Vorkehrungen. Entweder man macht die Instrumente selbst konstruktiv (Galvanometer Deprez-d'Arsonval) oder durch Schutzhüllen unempfindlich oder man kompensiert die Wirkungen der Bahnströme durch entgegengesetzt wirkende gleichartige Ströme. [1]) Und zwar sind alle Teile der Bahnströme zu berücksichtigen, d. h. sowohl diejenigen, welche durch die dazu bestimmten Leiter (Fahrdraht, Schienen) gehen, als auch diejenigen, die abirren und durch die Erde etc. gehen. Es handelt sich einfach darum, die magnetisierende Wirkung aller Stromteile durch eine Gesamtgegenwirkung aufzuheben.

---

[1]) Elektrotechn. Zeitschr. 1892, p. 422; 1895, 28, p. 445.

Digitized by Google

Nebeneinrichtungen bei Bahnen.

Der Betrieb von elektrischen Bahnen erfordert häufig noch gewisse Nebeneinrichtungen, die sich teils auf die Betriebssicherheit, teils auf besondere Betriebsumstände beziehen. Dazu gehören Telephon- und Signalanlagen, Regulierungseinrichtungen für Belastungsschwankungen u. dergl.

Wollte man eine Telephonanlage, welche dem Betriebe einer elektrischen Bahn dienen soll, in der Weise anlegen, dass man einfach einen Telephondraht in gewöhnlicher Weise vermittelst Isolatoren an dem die Fernleitungen tragenden Gestänge der Bahn anbringt, so würde eine Verständigung vollkommen ausgeschlossen sein. Es ist vielmehr nötig, auf die besonderen Bedingungen, welche der Umstand auferlegt, dass die Starkströme die Schwachstromleitung stören, volle Rücksicht zu nehmen.

Der Verfasser hat an der im Jahre 1893 von der Aktiengesellsch. Elektric.-Werke vorm. O. L. Kummer & Co. erbauten Bahn Blasewitz-Laubegast aus diesem Grunde eine derartige Verlegung der Betriebstelephonleitung vorgenommen, dass zwei Drähte zur Bildung einer durchgehends isolirten Schleifenleitung verwendet werden, und dass dieselben an jeder zehnten Stange gekreuzt werden, d. h. ihre Plätze gegenseitig wechseln. Hiedurch wird erreicht, dass die Leitung fast ganz frei von Geräusch ist. Die hervorragend günstige Wirkung dieser Anordnung in Bezug auf die Induktion, Ladung und Ueberleitung geht daraus deutlich hervor, dass selbst wenn unter Beibehaltung der Schleife nur eine Polklemme an Erde gelegt wird, ein so starkes Geräusch entsteht, dass eine Verständigung vollkommen unmöglich ist.

Diese Schutzvorrichtung ist auch bei Reichstelephonleitungen zu empfehlen.

Andere Signaleinrichtungen als telephonische Verbindung werden bei elektrischen Bahnen, besonders Strassenbahnen wenig zur Anwendung kommen, und sich hauptsächlich auf optische Signalgebung, z. B. durch Fahnen oder durch Glühlampen an gefahrvollen Strassenecken u. dergl. beschränken.

Eine weitere Nebeneinrichtung bei Bahnen bildet die elektrische Heizung der Wagen. Man kann mit einem Aufwand von ca. 2000 Watt das Wageninnere um ca. 17° C. über die Aussentemperatur erwärmen. Die Form der Widerstände ist für die Wärmeentwickelung natürlich ganz gleichgiltig. Dieselben können zweckmässig unter den Sitzbänken untergebracht werden.

Digitized by Google

Zu den besonderen Nebeneinrichtungen können auch solche gezählt werden, die den Zweck haben, die naturgemäss auftretenden Belastungsschwankungen möglichst unschädlich zu machen.

Bei Dampfmaschinen dienen diesem Zwecke am besten gute Regulatoren, die den Dampfzutritt schnell und richtig einstellen.

Bei Verwendung von Wasserkraft zum Betriebe wird aber eine blosse Regulierung der Wasserzufuhr nicht vollständig genügen, da dieselbe gewöhnlich zu spät erfolgt. Daher ist es, wenn eine gute Spannung erfordert wird, nötig, künstliche Belastungen der Maschine hervorzubringen. Dies kann durch Einschalten von Belastungswiderständen erreicht werden.

Ein anderes sehr bequemes und vorteilhaftes Mittel liegt in der Anwendung von Accumulatorenbatterieen. Das Vorhandensein einer parallelgeschalteten Batterie (sogenannten Pufferbatterie) genügt, um eine wesentliche Ueberschreitung oder ein wesentliches Sinken der Normalspannung zu verhindern, sobald die Stromaufnahmefähigkeit der Accumulatoren hinreichend gross ist. Ganz besonders eignen sich für diesen Zweck die Accumulatorenzellen mit derjenigen Type von Platten, welche neuerdings von der Accumulatorenfabrik Aktiengesellschaft Hagen für Traktionszwecke verwendet wird.

Es ist noch zu bemerken, dass eine etwaige, während eines Tages eingetretene Verminderung des Ladungsgehaltes der Batterie am einfachsten dadurch beseitigt wird, dass man die Batterie in z. B. drei Teile teilt und am Abend abwechselnd je zwei derselben kombiniert mit der gewöhnlichen Betriebsspannung läd.

In Bezug auf die erforderliche Zellenzahl kann man sagen, dass dieselbe so gewählt werden muss, dass bei der Normalspannung von der Batterie weder Strom abgegeben noch aufgenommen wird. Dies trifft dann zu, wenn pro je 2 Volt eine Zelle genommen wird.

Wird die Maschinenleistung infolge der Hinzunahme der Accumulatoren kleiner gewählt als sonst, so ist als untere Grenze für dieselbe die mittlere Stromstärke massgebend, welche der Grösse L_m entspricht; es ist sogar notwendig, dass dieselbe um einiges überschritten wird, da in den Accumulatoren etwas Energie verloren geht.

Schlussbemerkung.

Die im vorstehenden niedergelegten Erörterungen haben uns gezeigt, wie man die verschiedenen bei einer elektrischen Bahn auf-

Digitized by Google

tretenden Fragen behandeln und ihrer zweckmässigen Lösung entgegenführen kann.

Fassen wir das Gewonnene kritisch zusammen, so werden wir zunächst konstatieren müssen, dass, soweit es sich um Rechnungen handelt, Abweichungen der Wirklichkeit von der Berechnung keineswegs ausgeschlossen sind, vielmehr wird man mit dem Eintreten solcher Differenzen rechnen müssen. Dieser Umstand kann aber keine Veranlassung sein, die Rechnung zu missachten oder mit ihr unzufrieden zu sein, vielmehr wird er nur als Hinweis darauf dienen, dass jede Rechnung sich auf die Voraussetzungen, die grundlegenden Grössen stützt, wie eingangs näher erörtert, und dass es daher dem Projektierenden überlassen bleibt mit Kritik vorzugehen und nach den speziellen Verhältnissen zu urteilen und zu handeln.

Ist ein solches besonderes Urteil aber nötig, so wird sich der Grundsatz wieder bewahrheiten, dass die einfachste Rechnung die beste ist, und dass es daher nicht nur das bequemste, sondern auch das vollkommenste ist, wenn die Rechnung mit ihrem Ergebnis uns in Form einer Tabelle gewissermassen die fertige Lösung gibt. Die erforderliche Abänderung ist dann ebensogut am Ergebnis wie etwa an den Grundgrössen möglich.

Es ist dies ein Grundsatz, der in der Technik nicht vereinzelt zur Geltung kommt. Das Beispiel einer Berechnung eines Leitungsnetzes für die Beleuchtung einer Stadt ist sehr geeignet uns dies zu zeigen. Es hat dort wenig Sinn, mit skrupulöser Genauigkeit an den Leitungen, der Verteilung der Belastung etc. herumzutüfteln und bei einer zufällig gegebenen Lampenverteilung auf das exakteste unter der Annahme gleicher Spannung in den Verteilungspunkten die Leitungen zu berechnen. In Wirklichkeit müssen dann doch andere Querschnitte gewählt werden, und was die Hauptsache ist, weder die Bedingung der vollkommenen Spannungsgleichheit muss aufrecht erhalten werden, noch wird sie trotz sorgfältiger Rechnung in Wirklichkeit erfüllt werden, denn — es wird bei der Ausführung doch alles anders, ganz besonders die Lampenverteilung.

Ebenso steht es mit der elektrischen Bahn. Wollte man die wunderbarst genau erklügelten Formeln für Reibung, Winddruck etc. etc. aufstellen, man würde seine Mühe nicht gelohnt finden. Denn nur eine geringe Aenderung in der Schienenbeschaffenheit — und alles fällt anders aus. Demgegenüber steht die praktische Wahl z. B. der Maschinengrösse, wie erörtert, als etwas derartig Willkürliches gegenüber, dass von einem Nutzen übertriebener Genauigkeit keine Rede sein kann.

Digitized by Google

Es folgt daraus, man soll nicht trachten zu sagen, dies oder das muss so sein, sondern es ist wünschenswert oder anstrebenswert es so zu machen. Unter diesem Gesichtspunkt ist vornehmlich die ganze Berechnung der Bahnen zu betrachten.

Wenn wir neben den Berechnungen noch manche andere Punkte, wenn auch vielleicht nur kurz berührt haben, so soll alles dieses ebenfalls naturgemäss nur ein Fingerzeig vom praktischen Standpunkt aus sein, was beachtenswert erscheint, nicht aber eine erschöpfende Untersuchung. Das ist der Zweck dieser Arbeit.

Digitized by Google

Die Ziele der neueren elektrotechnischen Arbeiten der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt[1]).

Von

Prof. Dr. K. Feussner aus Charlottenburg.

Mit 9 Abbildungen.

Als die Aufforderung an mich erging, hier einen Vortrag über die Ziele der neueren elektrotechnischen Arbeiten der Reichsanstalt zu halten, war ich mir der Schwierigkeit der Aufgabe wohl bewusst, welche darin liegt, einem an sich trockenen Gegenstande, wie die Prüfung von Messapparaten und Materialien für elektrotechnische Zwecke nun einmal ist, und in der die hauptsächlichste Thätigkeit der Reichsanstalt auf elektrotechnischem Gebiete beruht, solche Seiten abzugewinnen, welche auch weiteren Kreisen, die mit diesen Arbeiten keine unmittelbaren Berührungspunkte haben, Interesse zu erregen geeignet wären. Wenn ich trotzdem der Aufforderung gerne Folge leistete, so geschah dies in dem Gedanken, dass der Wunsch technischer Kreise, über die Arbeiten und Ziele der Reichsanstalt unterrichtet zu werden, berechtigt, dass er für die Reichsanstalt selber — für den Erfolg unserer Arbeiten — ausserordentlich schätzenswert ist. Die Berührungen der Reichsanstalt mit der Technik können nicht häufig und innig genug gestaltet werden. Ein gegenseitiger Austausch der Meinungen — über die Anforderungen und Bedürfnisse des gewerblichen Lebens, über die Arbeiten und Ziele der Anstalt muss nach allen Seiten hin fördernd wirken — kann uns am besten in den

---

[1]) Der Vortrag wurde am 30. März 1897 im technischen Verein zu Frankfurt a. M. gehalten und von dem Herrn Verfasser für die „Sammlung elektrotechnischer Vorträge“ weiter ausgearbeitet.

Digitized by Google

Stand setzen, die Aufgaben, welche wir lösen sollen und lösen wollen, einer gedeihlichen Entwickelung entgegenzuführen.

Noch oft begegnen wir der Frage: worin besteht die Thätigkeit der Reichsanstalt, welchen Zwecken dient sie?

Meine Herren! Die Reichsanstalt ist entsprungen aus der modernen Entwickelung unseres Kulturlebens und der Lebensbedingungen unseres Volkes. Dort liegen die Gründe ihrer Entstehung — dorther sind ihre Aufgaben und Ziele abzuleiten. Die technischen Wissenschaften sind eine Macht in dem Wettkampf der Völker geworden. Daher ist es eine wichtige Aufgabe des Staates, nicht nur die Jugend in den technischen Wissenschaften zu unterrichten, sondern auch ein Institut zu schaffen, dem systematisches Arbeiten zur Fortbildung der technischen Wissenschaft und der gewerblichen Entwickelung des Volkes als Aufgabe gestellt ist. — Allerdings ist jeder, mag er sich ausübend oder lehrend mit der Technik beschäftigen, berufen, an der Fortbildung derselben mitzuarbeiten. Für die produzierenden und lehrenden Kreise ist jedoch die Schaffung der Güter und der Unterricht der Jugend die erste Aufgabe, sozusagen das tägliche Brot, neben dem sie sich den Luxus von Arbeiten für den allgemeinen Fortschritt der Technik nur gestatten können, wenn die Sorge für die erstgenannten Aufgaben befriedigt ist.

Bei der Reichsanstalt soll nun in ihren Beziehungen zur Technik die allgemeine Fortbildung der letzteren das erste Ziel der Thätigkeit sein. Dies ist allerdings eine sehr vielseitige Aufgabe, welche vor allen Dingen eine Beschränkung auf bestimmte Gegenstände fordert. Demgemäss beschränkt sich diese Thätigkeit der Reichsanstalt im allgemeinen auf die Untersuchung, Prüfung und Beglaubigung von Messapparaten und die Vornahme physikalischer Messungen für technische Zwecke.

Auch dies ist immer noch ein sehr weites Gebiet. Für den heutigen Abend müssen wir uns schon aus diesem Grunde auf die Betrachtung der Arbeiten des elektrotechnischen Laboratoriums der Reichsanstalt beschränken. Bei den elektrotechnischen Arbeiten der Reichsanstalt haben wir wieder zwei verschiedene Thätigkeiten zu unterscheiden. Erstens werden zahlreiche Apparate und Materialproben zur Untersuchung eingesandt. Die Erledigung dieser Arbeiten nimmt den grössten Teil der Arbeitszeit, namentlich der jüngeren Beamten, in Anspruch. Eine zweite Art der Thätigkeit betrifft systematische Arbeiten zur Fortbildung der Messtechnik. Diese letztere musste gerade in der letzten Zeit, wo ausserdem die Einrichtung der neuen

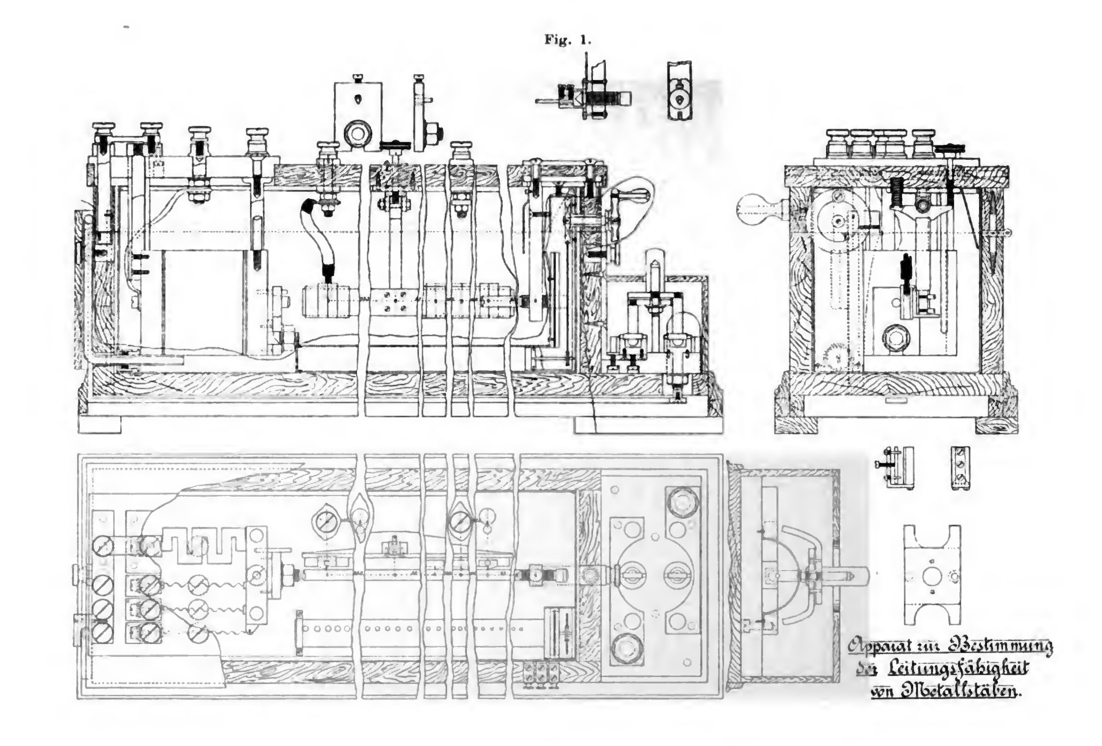
Digitized by Google

Arbeitsräume viel Zeitaufwand verursachte, der erstgenannten Thätigkeit gegenüber oft in den Hintergrund gesetzt werden. Doch dürfen wir wohl hoffen, demnächst mit erweiterten Hilfsmitteln in eine Periode lebhafteren Fortschrittes auch bezüglich der systematischen Arbeiten einzutreten. Die Prüfung eingesandter Apparate und Materialien soll naturgemäss in erster Linie dem Einsender Nutzen bringen, indem sie ihn die Leistung und Eigenschaften seiner Fabrikate oder Gebrauchsgegenstände richtig beurteilen lehrt. Einen grossen Teil dieser eingesandten Gegenstände bilden die elektrischen Messapparate, unter denen die nach Angabe der Reichsanstalt hergestellten Normalmessgeräte eine hervorragende Stelle einnehmen. Durch die Prüfung und Beglaubigung der Messgeräte wird für den gewerblichen Verkehr mit Elektrizität eine amtlich beglaubigte Grundlage geschaffen.

Es ist unser Bestreben, die Prüfungsarbeiten gleichzeitig dazu zu benützen, die bei den betreffenden Untersuchungen angewandten Methoden und Apparate zu vervollkommnen. Es würde mich zu weit führen, wollte ich Ihnen die verschiedenen Bestrebungen auf diesem Gebiet hier einzeln schildern. Ein Beispiel dafür mag genügen. Unter den Materialien, welche für elektrotechnische Zwecke gebraucht werden, stellen die Leitungsmaterialien die grössten Werte dar und in den Geschäftsabschlüssen über sie pflegt eine bestimmte Grösse der Leitfähigkeit ausbedungen zu werden. Infolgedessen werden viele Proben von Leitungsmaterial bei der Reichsanstalt zur Prüfung eingereicht. Obgleich schon zahlreiche Apparate und Methoden in der wissenschaftlichen Litteratur beschrieben worden sind, welche speziell die Bestimmung der Leitungsfähigkeit zum Zweck haben, so entsprach doch keiner dieser Apparate den für unseren Zweck zu stellenden Anforderungen. Um diesem Mangel abzuhelfen, wurde der in der Fig. 1 dargestellte Apparat konstruiert und in der Reichsanstalt selber gebaut. Derselbe erleichtert und sichert die Bestimmung der Leitfähigkeiten von Metallstäben und Drähten sehr erheblich und hat schon seit einigen Jahren bei den Arbeiten der Reichsanstalt gute Dienste geleistet. Das Wesentliche des Apparates besteht, kurz zusammengefasst, in folgenden Stücken: Es ist ein 70 cm langes Stück des zu untersuchenden Leiters erforderlich. Dieses wird an seinen Enden zwischen zwei am Deckel des Apparates befindlichen Klemmen eingespannt oder bei einem Querschnitt von mehr als $^1/_2$ Quadratcentimeter an dem einen Ende mit einer die eine Klemme ersetzenden Kupferplatte verlötet. Bei dem Schliessen des Deckels wird das Probestück in ein Petroleumbad herabgelassen, welches durch ein von einem Elektromotor angetriebenes Flügelrad in fort-

Digitized by Google

Fig. 1.



Digitized by Google

währenden Umlauf gesetzt und durch elektrische Heizung auf verschiedenen Temperaturen gehalten werden kann. Darauf werden zwei in einem Abstande von 50 cm fest miteinander verbundene Schneiden durch Drehen einer Schraube an den Probestab angedrückt und das zwischen denselben liegende Stück des Probestabes nach der Thomsonschen Methode, mit einem der drei ebenfalls an den Deckel des Apparates angebrachten Starkstrommesswiderstände aus Manganinblech verglichen. Die Querschnitte der Verbindungsleitung und der Messwiderstände gestatten Messströme von einigen Hundert Ampère anzuwenden. Dadurch wird auch bei sehr geringem Widerstand des Probestückes noch genügende Empfindlichkeit der Messung erreicht.

In ähnlicher Weise werden auch in anderen Richtungen Verbesserungen der Prüfungsmethoden und der dabei benützten Apparate angestrebt, ich will mich jedoch hier nicht länger bei diesen Einzelheiten aufhalten, sondern mich gleich zu dem zweiten Thätigkeitsgebiete, den systematischen Arbeiten wenden. Um die Ziele der neueren Arbeiten auf diesem Gebiete darzulegen, bin ich genötigt, zunächst auf die früheren, im wesentlichen abgeschlossenen Arbeiten einen Rückblick zu werfen.

Die erste Aufgabe des elektrotechnischen Laboratoriums war, ein Messverfahren aufzustellen, welches für die Aichung der technischen Strom- und Spannungsmesser in der Reichsanstalt sowohl, wie in den Fabriklaboratorien geeignet sein musste, die für dieses Verfahren erforderlichen Normalapparate anzugeben und in zuverlässiger Form mit amtlicher Beglaubigung in Verkehr zu bringen. Die Anforderungen, welche an die Normalapparate für technische Zwecke zu stellen sind, bestehen namentlich darin, dass sie eine Genauigkeit der Messung von mindestens $^1/_{1000}$ zulassen und dass sie keine Teile besitzen, die bei der Versendung oder regelrechtem Gebrauche Aenderungen erfahren können, welche Abweichungen in den Angaben über die genannte Grenze hinaus veranlassen könnten. Die zur Zeit der Gründung der Reichsanstalt in Gebrauch befindlichen Messapparate konnten für diesen Zweck nicht für brauchbar erachtet werden. Für den technischen Gebrauch bediente man sich damals fast ausschliesslich solcher Strom- und Spannungsmesser, bei denen ein bewegliches Stück Eisen durch die elektromagnetische Kraft einer Stromspule angezogen wird. Mit solchen Apparaten erreicht man eine Genauigkeit von etwa einem Prozent. Auch mit besonders sorgfältig hergestellten Apparaten dieser Bauart kommt man namentlich wegen der Hysteresis des Eisens nicht viel weiter. Im Laboratorium verwendete man daher für die

Digitized by Google

Strom- und Spannungsmessungen noch andere Apparate, in Deutschland namentlich die Torsionsgalvanometer und Torsionsdynamometer von Siemens & Halske, in Oesterreich das dem Siemensschen ähnlich gebaute Torsionsdynamometer von Ganz & Comp. und in England die Stromwagen von William Thomson. Bei allen drei Arten wird das Ergebnis der Messung an einer Zeigerstellung direkt abgelesen oder mittels derselben berechnet. In den oberen Lagen der Skala genügte die Empfindlichkeit der Messung wohl der oben genannten Anforderung im allgemeinen, in den unteren Skalenlagen war sie dagegen eine zu kleine. Namentlich besitzen alle genannten Apparate aber so viele leicht veränderliche Teile, dass immer eine Controle der Konstante mittels des Silbervoltameters an Ort und Stelle vorgenommen und von Zeit zu Zeit wiederholt werden musste.

Die schwierige und zeitraubende silbervoltametrische Messung sollte für die Technik vor allen Dingen entbehrlich gemacht werden. Nur durch die Ausbildung einer neuen Messmethode und neuer Apparate liess sich dies erreichen. Es wurde ein Kompensationsverfahren gewählt, d. h. ein solches Verfahren, bei dem zwei elektromotorische Kräfte so gegeneinander geschaltet werden, dass ihre Wirkung auf ein Galvanometer sich aufhebt.

Kompensationsmethoden waren bis dahin nicht viel für technische Messungen verwandt worden. Das verbreitetste elektrotechnische Taschenbuch der damaligen Zeit sagt, nachdem alle anderen Methoden der Spannungsmessung abgehandelt sind, über dieselbe nur: „Die Kompensationsmethoden sind weniger genau, in manchen Fällen gar nicht anwendbar und obendrein schwierig und langwierig in der Handhabung.“

Durch eine sorgfältige Durchbildung von Verfahren und Apparat unter Benützung der inzwischen gemachten technischen Fortschritte im Apparatenbau wurde erreicht, dass das neue Kompensationsverfahren die genaueste Messmethode für fast alle in der Praxis vorkommenden Stromstärken und Spannungen darstellt, dass alle Messungen mit einem Apparat ausgeführt werden können und dass das Resultat ohne irgend welche Umrechnung oder Korrektionen an der Einstellung des Apparates abzulesen ist.

Da ausser der ursprünglichen Beschreibung des benützten Kompensationsapparates über das Verfahren von unserer Seite noch nichts Näheres veröffentlicht worden ist, möchte ich die leitenden Gesichtspunkte für dasselbe hier kurz auseinandersetzen.

Das Verfahren liefert zunächst Spannungsmessungen; die Strom-

Digitized by Google

stärken werden bei demselben durch Messung der Spannung an Widerständen ermittelt, Widerstände werden umgekehrt bestimmt aus der Spannung, welche bei bekannten Stromstärken zwischen den Endpunkten derselben herrschen.

Der Kompensationsapparat besteht aus einem Widerstandssatz, der mit einer Einrichtung verbunden ist, welche genau erkennen lässt, wenn eine bestimmte Stromstärke — in der Regel 1 Milliampere — durch den Apparat hindurchgeht. Dadurch ist ein Mittel an die Hand gegeben, die Stromstärke durch Aenderung der eingeschalteten Widerstandsbeträge genau auf 1 Milliampere einzuregulieren. Zur Erkennung der richtigen Stromstärke dient ein empfindliches Galvanometer, welches mit einem Clarkschen Normalelement und einem Stromschlüssel mit Vorkontakt und Ballastwiderstand im Nebenschluss zu einem Teil des Widerstandssatzes liegt. Der Widerstandsbetrag, von welchem in dieser Weise abgezweigt werden soll, wird zuerst eingestellt und zwar wird er in Ohm 1000mal so gross gemacht, als wie die Spannung des Normalelements in Volt beträgt. Diese Spannung sei z. B. 1,4340 Volt, dann schaltet man von dem Widerstandssatz 1434 Ohm zwischen den Abzweigpunkten des Nebenschlusses ein. Geht gerade ein Milliampere durch den Widerstandssatz, so ist der Spannungsabfall in dem Teile, zu welchem das Galvanometer im Nebenschluss liegt, genau der elektromotorischen Kraft des Normalelements gleich. Da die beiden Spannungen einander entgegen geschaltet sind, kehrt das Galvanometer auf seine Nulllage zurück, sobald die Einregulierung auf 1 Milliampere genau ausgeführt ist. Die richtige Einregulierung des Stromes lässt sich auch mit einem Galvanometer von mittlerer Empfindlichkeit leicht bis auf $^1/_{10000}$ genau erkennen.

Die Stromstärke von 1 Milliampere, welche durch den Apparat geht, kann man nun entweder den Klemmen, deren Spannung gemessen werden soll, selber entnehmen oder auch eine Hilfsbatterie für diesen Zweck heranziehen. Im ersten Falle, welcher das einfache Kompensationsverfahren heissen mag, wird soviel Widerstand in den an die betreffenden Klemmen angelegten Messstromkreis eingeschaltet, dass die Stromstärke in demselben genau ihren Normalwert von 1 Milliampere annimmt. Die zu messende Spannung ist dann dem tausendsten Teil des eingeschalteten Widerstandsbetrags numerisch gleich.

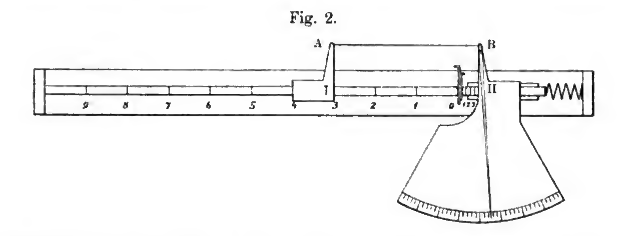
Im Prinzip unterscheidet sich dies Verfahren von demjenigen der gewöhnlichen technischen Spannungsmesser nur dadurch, dass man hier einen festen Widerstand, verbunden mit einem Apparat, benützt,

Digitized by Google

der die in demselben durch die zu messende Spannung erzeugte — und daher veränderliche — Stromstärke angibt, dort einen Apparat hat, der einen festen Wert der Stromstärke anzeigt, verbunden mit einem von Hand variabeln Widerstande.

In dem zweiten Fall, den wir das doppelte Kompensationsverfahren nennen wollen, wird die Stromstärke von 1 Milliampere einer Hilfsbatterie entnommen. Der Hinzutritt dieser Batterie vergrössert die erforderlichen instrumentellen Hilfsmittel nicht unerheblich, bietet aber den Vorteil, dass auch bei schwachen Stromquellen keine Aenderung der Spannung durch Anlegen des Apparates eintritt und dass der Widerstand der Zuleitungen zum Messapparate ganz unberücksichtigt bleiben darf. Dieser letztere Umstand ermöglicht mit dem fest aufgestellten Kompensationsapparate Spannungen, Stromstärken und

Fig. 2.



Widerstände zu messen, welche mehrere Kilometer weit entfernt sein können, sobald man nur zwei gut isolierte Drähte dorthin ziehen kann.

Für den praktischen Gebrauch dürfte es das zweckmässigste sein, alle Spannungen unter 10 Volt, und demnach auch alle Stromstärken und Widerstände, mit Hilfsbatterie, die höheren Spannungen nach der ersteren Methode zu messen.

Dem Prinzip nach besitzt das doppelte Kompensationsverfahren viel Aehnlichkeit mit der Messung einer gegebenen Länge mittels eines Massstabes. Der Widerstandssatz, durch den ein konstanter Strom geht, bildet eine Spannungsskala, deren Einrichtung man sich wohl am leichtesten vorstellt, wenn man ihr mechanisches Gegenstück in Form eines Längenmesswerkzeuges oder Schiebleere der in Fig. 2 dargestellten Einrichtung betrachtet. Auf einem Stabe sind nach links fortlaufend 9 dcm und auf einem zweiten Stabe nach rechts fortlaufend 9 cm abgeteilt. Die Stäbe berühren sich mit ihren Nullpunkten und werden hier etwa durch eine Feder, welche auf der

Digitized by Google

rechten Seite der Figur angedeutet ist, in der Weise zusammengedrückt, dass zwischen die beiden Nullpunkte noch kleinere Teile — etwa in Form entsprechend dicker Bleche — bis zu einem Betrage von $^9/_{10}$, $^9/_{100}$ und $^{10}/_{1000}$ eines Centimeters eingeschoben werden können. Auf jeder Teilung ist ein senkrecht zu ihr stehender Schenkel verschiebbar, welcher immer nur auf einen der Teilpunkte eingestellt werden kann. Zwischen diese beiden Schenkel kommt die zu messende Länge A B zu liegen. Der Punkt A wird an den Schenkel I angedrückt und dieser Schenkel so weit verschoben bis der Punkt B vor die zweite Skala zu liegen kommt. Nun wird auch der zweite Schenkel angeschoben. Dieser berührt den Endpunkt B nicht unmittelbar, sondern vermittelst eines Fühlhebels. Man schiebt nun, je nachdem der Zeiger des Fühlhebels nach rechts oder links zeigt, $^1/_{10}$ $^1/_{100}$ und $^1/_{1000}$ eines Centimeters zwischen die Nullpunkte ein oder zieht solche kleine Teile heraus.

Die mechanische Ausführung eines solchen Messapparates für Längenmessung würde zwar auf Schwierigkeiten namentlich bezüglich der Einschiebung der kleinen Teile stossen, bei dem elektrischen Apparat geht dies jedoch sehr gut. Den beiden Massstäben entsprechen die beiden Kurbelrheostaten des Kompensationsapparates. In dem einen springt die Spannung bei Stromdurchgang von 1 Milliampere um je 1 Volt, in dem anderen um je 0,1 Volt. Zwischen den Kurbelrheostaten liegt eine Reihe von Widerständen in Beträgen von 50 bis 0,1 Ohm, also mit Spannungsabfall von 0,05 bis 0,0001 Volt, welche durch Stöpsel kurzgeschlossen und dadurch sehr einfach aus der Reihe herausgenommen werden können. Die beiden Kurbeln entsprechen den Schenkeln der vorher beschriebenen Schiebleere; durch sie werden die Punkte A und B, deren Spannungsdifferenz ermittelt werden soll, mit dem Widerstandssatz verbunden. Bei der einen Kurbel geschieht die Verbindung unmittelbar, bei der anderen unter Einschaltung von Galvanometer und Stromschlüssel. Das Galvanometer entspricht genau dem vorher erwähnten Fühlhebel, nur arbeitet es viel sicherer und empfindlicher als die mechanische Einrichtung.

Aus dieser Nebeneinanderstellung der elektrischen Messung mit einer mechanischen werden Sie sehen, dass die Methode der Vergleichung einer gegebenen elektrischen Spannung mit der durch den Kompensationsapparat dargestellten Spannungsskala erheblich sicherere und genauere Ergebnisse liefern muss, als bei der Vergleichung einer Länge mit einem Massstabe erreichbar sind; dass wir also eine der vollkommensten Präzisionsmessmethoden hier vorliegen haben. Unsere

Digitized by Google

Spannungsskala besitzt noch einen weiteren Vorzug. Vergrössert man die Stromstärke im Kompensationsapparat von 1 Milliampere auf 10 Milliampere — was noch ohne weiteres zulässig ist — so wächst auch die Spannung an jedem einzelnen Widerstand genau auf das 10fache. Die Wirkung ist also dieselbe, als wenn wir im stande wären, einen Metermassstab mit Unterteilungen bis auf ein Hunderttausendstel seiner Länge plötzlich in einen Zehnmetermassstab mit der entsprechenden Unterteilung zu verwandeln. Durch Herabsetzung der Stromstärke können wir nach der anderen Richtung noch weiter gehen, indem wir statt mit 1 Milliampere mit $^1/_{10}$ oder auch nur mit $^1/_{100}$ Milliampere arbeiten. Die Empfindlichkeit der gebräuchlichen Spiegelgalvanometer reicht auch bei so kleinen Stromstärken noch aus, die Vergleichung bis auf die kleinsten Teile der Skala mit Sicherheit zu erstrecken. Unser Massstab kann also der Grössenordnung der zu messenden Spannung im Verhältnis von $^1/_{1000}$ angepasst werden.

Kleinere elektromotorische Kräfte, von den kleinsten überhaupt galvanometrisch erkennbaren beginnend bis zu 10 oder auch mit grösserer Hilfsbatterie bis 100 Volt, können also nach dem indirekten Kompensationsverfahren grössere Spannungen bis etwa 500 Volt nach dem früher beschriebenen direkten Verfahren mit dem Apparate unmittelbar in Volt gemessen werden. Prinzipiell steht nichts im Wege, auch noch viel höhere mit dem Apparate in gleicher Weise zu messen, sobald die betreffende Stromquelle nur einen Strom von 1 Milliampere ohne Aenderung ihrer Kraft auszugeben vermag, praktisch stehen jedoch die für diesen Zweck erforderlichen hohen Vorschaltwiderstände in geeigneter Form zur Zeit noch nicht zur Verfügung. Auf diesen Punkt werde ich im Verlauf meiner Ausführungen zurückkommen.

Die zweite Anwendung des Kompensationsapparates bezieht sich auf die Messung von Stromstärken. Nach dem Ohmschen Gesetz ist die Stromstärke gleich der Spannung, dividiert durch den Widerstand, sowohl im ganzen Stromkreise, wie in jedem einzelnen Abschnitte desselben. Um die Stromstärke zu ermitteln, kann man daher auch die Spannung an den Endpunkten eines in den Stromkreis eingeschalteten Widerstandes von bekanntem Werte messen. Das doppelte Kompensationsverfahren ist für diesen Zweck ausserordentlich geeignet, weil bei demselben den Anschlusspunkten kein Strom entnommen wird, die Zuleitungen zu dem Apparat beliebig lang und dünn sein können und der Widerstand des angelegten Messapparates für den Hauptstromkreis nicht in Rechnung gezogen zu werden braucht. Man

Digitized by Google

bedurfte für diesen Zweck jedoch einer bis dahin wenig angewandten und darum konstruktiv noch nicht ausgebildeten Gattung von Apparaten, der Starkstrommesswiderstände.

Eine dritte Anwendung des Kompensationsapparates ist die zur Messung von Widerständen. Elektrische Widerstände pflegt man bekanntlich mittels einer Stromverzweigung, welche unter dem Namen der Wheatstoneschen Brücke bekannt ist, zu messen. Diese Methode versagt jedoch, wenn die zu messenden Widerstände von gleicher oder gar kleinerer Grössenordnung als ihre Verbindungsleitungen und als die Vergleichswiderstände der Brücke selber sind. In der Technik handelt es sich aber gerade häufig um sehr kleine Widerstände, z. B. Dynamomaschinen-Anker, starke Verbindungskabel, Kupferschienen, und ähnliche für den Durchgang starker Ströme berechnete Konstruktionsstücke. In solchen Fällen wird das Kompensationsverfahren wieder mit Vorteil angewandt. Man schickt einen kräftigen Strom, am besten den normalen Betriebsstrom durch den zu messenden Widerstand, schaltet ausserdem noch einen Starkstrommesswiderstand in den Stromkreis ein, und misst die Spannung an den Enden der beiden Widerstände in der vorher beschriebenen Weise. Das Verhältnis der Spannungen multipliziert mit dem Werte des benützten Starkstrommesswiderstandes liefert den gesuchten Wert. Ausserdem, dass man auf diese Weise Widerstände leicht messen kann, auf welche Brückenmethoden gar nicht oder doch nur mit grössten Schwierigkeiten angewendet werden können, hat man noch den Vorteil, dass man mit der für die Apparate normalen Stromstärke arbeiten kann und daher auch die wirklich während des Betriebes vorhandene Grösse des Widerstandes findet.

Die Betrachtung der elektrischen Messmethode der Reichsanstalt hat uns also die Mittel gezeigt, durch welche ein Messverfahren, welches bisher nur bei wissenschaftlichen Untersuchungen benützt worden war, für eine allgemeine Anwendung in der Praxis geeignet gemacht wurde. Diese Mittel waren, um es noch einmal zusammenzufassen:

1. Einführung der doppelten Kompensation.
2. Anwendung von Widerständen, Stromstärken und Spannungen, die genau nach Ohm, Ampere und Volt abgeglichen, bezw. bekannt sind.
3. Uebergang zu hohen Widerständen und kleinen Stromstärken für den Messstromkreis.
4. Konstruktion geeigneter Messapparate.

Sie sehen ferner, dass alle elektrischen Normalmessungen nach dieser Methode auf Messwiderstände gegründet sind. Auf der einen

Digitized by Google

Seite ist dies die Skala von Schwachstrommesswiderständen, welche wir als Kompensationsapparat bezeichnet haben, auf der anderen Seite eine Anzahl von einzelnen Starkstrommesswiderständen.

Die Zurückführung auf die Messwiderstände ist der leitende Gedanke für das Vorgehen, weil unter allen Arten elektrischer Grössen ein Leitungswiderstand am besten und dauerhaftesten in einem materiellen Gegenstand verkörpert und als beglaubigter Apparat ausgegeben werden kann. Immerhin war jedoch eine Reihe experimenteller und konstruktiver Aufgaben zu lösen, um den Messwiderständen denjenigen Grad von Unveränderlichkeit und Leistungsfähigkeit zu sichern, welche von den Fundamentalapparaten für die elektrischen Messungen gefordert werden muss, wenn man die gleiche Genauigkeit, wie etwa diejenige der Längenmessung ist, von den elektrischen Messungen fordert.

Bei der Längenmessung ist einer der schwierigsten Punkte der Einfluss der Temperatur.

Stahl dehnt sich bei der Erwärmung um 1° C. um etwa 10 Millionstel seiner Länge, Messing um etwa 20 Millionstel aus. Der elektrische Widerstand wächst dagegen durch 1° C. Temperaturerhöhung bei Kupfer und fast allen reinen Metallen um etwa 4000 Millionstel seines Betrages, bei den Legierungen, welche bis dahin für elektrische Widerstände benützt wurden, mindestens um 200 Millionstel. Alle Messungen, welche mit Hilfe von Widerständen gemacht wurden, mussten daher in ausserordentlich hohem Masse von der Temperatur dieser Widerstände beeinflusst werden. Dieser Umstand ist um so schwerer wiegend, als ein Widerstand ein Apparat ist, welcher elektrische Energie in Wärme umwandeln soll, sich also bei dem Gebrauch notwendigerweise erwärmt. Bei Starkstromwiderständen ist auch bei Anbringung besonderer Kühlvorrichtungen die Erwärmung in der Regel so stark, dass mit den alten Legierungen der Bau genauer Messwiderstände für starke Ströme kaum möglich oder wenigstens doch der Gebrauch derselben wegen der erforderlichen Beobachtung der Temperatur und der Korrigierung der Werte entsprechend dieser Beobachtung sehr erschwert war. In diesem Umstande ist einer der Gründe zu sehen, welche früher die Ausbildung der Kompensationsmethode zu einem für die Technik geeigneten Messverfahren verhindert hatten.

Bei den Schwachstromwiderständen ist zwar die Erwärmung durch den Strom in der Regel nicht erheblich, dieselben besassen aber auch zum Teil einen wenigstens für Präzisionsmessungen sehr unangenehmen Uebelstand, indem sie ihren Widerstandswert im Laufe

Digitized by Google

der Jahre auch bei der sorgfältigsten Behandlung merklich änderten. Es war infolgedessen schwierig, den Wert von Normalwiderständen aus festem Metall auf längere Zeit mit genügender Genauigkeit zu verbürgen.

An diesem für die Aichung von Widerständen besonders misslichen Punkte setzten die Arbeiten der Reichsanstalt zunächst ein. Es wurden aus einer grösseren Anzahl von Legierungen, welche für elektrische Widerstände im Gebrauch waren oder geeignet erschienen, Probewiderstände verschiedener Art hergestellt und die Aenderungen des Wertes, welche dieselben unter der gleichen, nach mehreren Richtungen variierten Behandlung zeigten, möglichst sorgfältig ermittelt. Die Beobachtungen ergaben, dass sich das für Widerstandszwecke am meisten benützte Neusilber rücksichtlich der dauernden Widerstandsänderungen besonders ungünstig verhält, dass aber das ähnlich zusammengesetzte Metall, welches zu den Reichsnickelmünzen verwandt und unter dem Namen „Patentnickel" in den Handel gebracht wird, ein ganz anderes Verhalten zeigt. Widerstände aus Neusilber erhöhen ihren Wert fortwährend. Wenn die Apparate sehr sorgfältig aufgehoben und nur mit schwachem Strome gebraucht werden, ist diese Zunahme zwar eine recht langsame, war aber immerhin in allen Fällen nachzuweisen. Bei stärkerer Beanspruchung mit elektrischem Strom oder bei Erwärmung auf anderem Wege ist die Zunahme eine bedeutend raschere. Der Widerstand nähert sich dabei nicht einem bestimmten Werte, sondern wächst ohne Grenze fort. Gleichzeitig tritt auch eine tiefgreifende Veränderung des Materials in mechanischer Hinsicht ein. Bei dem Verweilen auf hoher Temperatur wird es bald so brüchig, dass man es zwischen den Fingern zerreiben kann und auf dem Bruche leicht zwei schon durch die Farbe verschiedene Metallsorten unterscheidet. Die Widerstandsmessung zeigt nun, dass jene Umlagerung der Bestandteile der Legierung, welche sich bei hoher Temperatur verhältnismässig rasch vollzieht, bei gewöhnlicher Temperatur zwar sehr langsam vor sich geht, aber doch nicht ganz zum Stillstand kommt und im Lauf der Jahre für feine Messungen beträchtliche Veränderungen verursacht, die sich auf Hundertstel-Prozent belaufen können.

Das Patentnickel verhält sich anders. Eine aus diesem Material hergestellte Widerstandsrolle ändert sich in der ersten Zeit nach dem Wickeln auch etwas, aber in umgekehrtem Sinne, als Neusilber. Die Widerstandsabnahme wird durch Erhitzen ebenfalls beschleunigt, hört aber auch bei höherer Temperatur nach einiger Zeit auf. Als prak-

Digitized by Google

tische Regel für die Anfertigung von Messwiderständen hat sich aus den Versuchen ergeben, dass, wenn man solche Widerstände nach der Herstellung 24 Stunden lang auf 120 bis 130° C. erhitzt, später infolge von Erwärmungen durch den Strom, welche 50 bis 60° nicht überschreiten, keine merklichen Aenderungen des Widerstandsbetrages mehr eintreten. Man hat demnach zwischen dauerhaften und veränderlichen Metalllegierungen zu unterscheiden. Der Grund für das verschiedene Verhalten ist in der Zusammensetzung zu suchen. Patentnickel, das Metall der Reichsnickelmünzen, besteht bekanntlich aus Kupfer mit 24 % Nickel. Neusilber ist ähnlich zusammengesetzt, enthält jedoch häufig weniger Nickel und stets neben den genannten beiden Bestandteilen noch eine erhebliche Menge Zink. In diesem letzteren Zusatz ist ohne Zweifel der Grund für die Veränderlichkeit des Materials zu suchen. Der Vorgang in dem Metall ist offenbar derselbe, welchen man in der Hüttensprache als Seigern, in der Glastechnik als Entglasen bezeichnet, d. h. es scheiden sich allmählich aus dem ursprünglich als homogene Mischung erstarrten Schmelzfluss einzelne Bestandteile oder bestimmte chemische Verbindungen in krystallinischer Form aus. Dass unter den Metalllegierungen die zinkhaltigen diese Neigung besitzen, während sie den meisten übrigen abgeht, haben auch die weiteren Untersuchungen von Legierungen bestätigt.

Eine Vergleichung der an verschiedenen Neusilbersorten und an Patentnickel angestellten Messungen liess ferner eine Abnahme der **Veränderlichkeit** d e s s p e z i f i s c h e n W i d e r s t a n d e s m i t d e r T e m p e r a t u r bei steigendem Nickelgehalt erkennen. Danach war zu erwarten, dass diese für Messwiderstände so überaus nachteilige Eigenschaft sich durch Aenderung der Bestandteile und Mengenverhältnisse der bisher angewandten Legierungen verringern liesse.

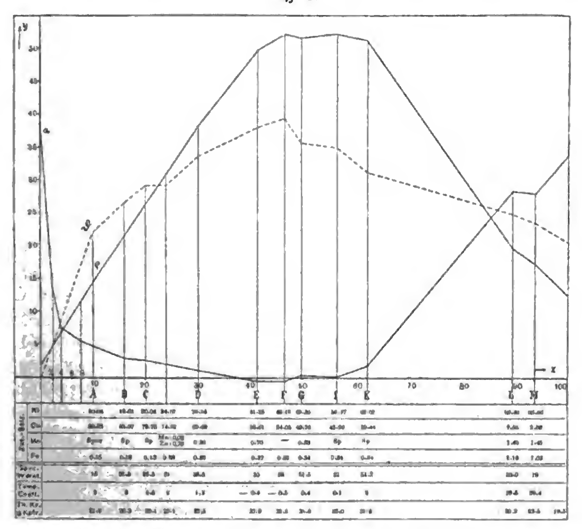
Zur Untersuchung dieser Verhältnisse wurde eine Reihe von Legierungen aus Kupfer mit stufenweise steigendem Nickelgehalt durch die Firma Basse & Selve in Altena angefertigt. Die Messungsergebnisse an dieser Reihe sind in der Fig. 3 dargestellt. Die zwölf untersuchten Legierungen sind hier nach steigendem Nickelgehalt von links nach rechts angeordnet, so dass je 1 % Nickel ein Abstand von 1,2 mm vom linken Rande entspricht. Zunächst sind die spezifischen Widerstände der Materialien als Ordinaten eingetragen. Die Verbindungslinie der Endpunkte bildet die mit ρ bezeichnete Kurve. Dieselbe steigt von dem dem reinen Kupfer eigenen kleinen Widerstande anfangs fast gradlinig mit dem zunehmenden Nickelgehalte an, wird bei 46 % Nickel etwa horizontal und fällt von 62 % Nickel zu dem



Digitized by Google

dem reinen Nickel zukommenden Werte ab. Die Aenderung des spezifischen Widerstandes mit der Temperatur ist durch die mit α bezeichnete Kurve dargestellt. Diese fällt anfangs schnell, später langsamer, geht kurz vor 40 % Nickel etwas unter die Nulllinie und steigt dann annähernd gradlinig zu dem den reinen Metallen zukommenden Anfangswerte wieder an. Es ist demnach möglich, durch

Fig. 3.



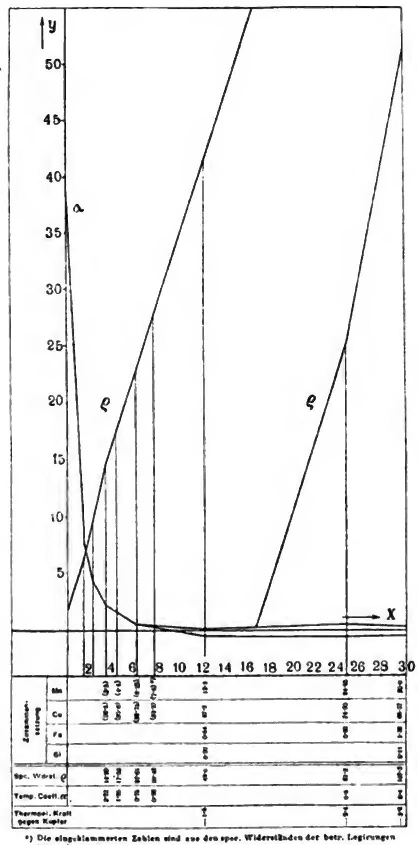
Anwendung einer geeigneten nickelreichen Kupferlegierung die Veränderlichkeit des Widerstandswertes mit der Temperatur ganz zu beseitigen.

Eine Legierung von 40 % Nickel und 60 % Kupfer wird im Anschluss an diese Untersuchungen von der Firma Basse & Selve in Altena unter dem Namen Konstantan als Material für elektrische Widerstände in den Handel gebracht.

Dieses Material verdient wegen seiner grossen Festigkeit, Dehnbarkeit, Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse und geringe Wärmeleitung auch Beachtung für viele andere technische Zwecke.

Digitized by Google

Fig. 4.



*) Die eingeklammerten Zahlen sind aus den spec. Widerständen der betr. Legirungen interpolirt.

Bereits bevor wir diese Untersuchungen an den Nickelkupferlegierungen, deren Herstellung den Werken anfangs grosse Schwierigkeiten und Zeitverlust verursachten, zu Ende führen konnten, hatten

wir noch mit einer anderen Gruppe von Legierungen, nämlich denen des Kupfers mit dem Mangan Versuche angestellt. Mangan steht dem Nickel bekanntlich in seinen chemischen Eigenschaften nahe. Unter dem Namen Manganbronze sind verschiedene Legierungen desselben mit Kupfer für Maschinenbauzwecke im Handel. In Deutschland werden solche Legierungen als Spezialität von der Isabellenhütte bei Dillenburg hergestellt. An ähnlichen Legierungen, nämlich solchen aus Ferromangan mit Kupfer und Nickel, hatte Herr Weston in Newark bereits früher nach einem amerikanischen Patente einen negativen Temperaturkoëffizient beobachtet.

Von der Isabellenhütte erhielten wir Mangankupferlegierungen mit verschiedenem Mangangehalt. Die Ergebnisse der Untersuchung derselben auf spezifischen Widerstand und Temperaturkoëffizient sind in Fig. 4 in derselben Weise wie vorher bei den Nickelkupferlegierungen dargestellt. Die Messungen konnten hier jedoch nur bis zu Legierungen mit 30 % Mangan ausgedehnt werden, da manganreichere Legierungen sich nicht mehr zu Draht verarbeiten liessen. Der Manganzusatz beeinflusst den spezifischen Leitungswiderstand und den Temperaturkoëffizient in ähnlicher Weise wie ein etwa 2½mal so grosser Nickelzusatz. Die Kurve des spezifischen Widerstandes steigt daher bedeutend steiler an, die des Temperaturkoëffizienten fällt sehr schnell ab. Schon bei 8 % Mangan ist die letztere der Nulllinie sehr nahe, geht aber bei grösserem Mangangehalt für gewöhnliche Temperaturen nicht unter diese Linie herab. Für etwas höhere Temperaturen erlangt der Temperaturkoëffizient auch hier kleine negative Werte. In der Figur ist die zweite Hälfte der Kurve doppelt gezeichnet, entsprechend der Aenderung des spezifischen Widerstandes mit der Temperatur in der Nähe von 0° und von 100° C.

Durch diese Untersuchungen lernten wir also zwei Gruppen von Legierungen kennen, innerhalb deren die Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur für bestimmte Zusammensetzungen praktisch verschwindet. Die Prüfung auf Konstanz ergab, dass beide Gruppen sich dem Patentnickel entsprechend verhalten, also zu den dauerhaften Legierungen gehören.

Für die Verwendung als Widerstandsmaterial kommt weiter die thermoelektrische Kraft in Frage. Ich möchte auf diese Eigenschaft hier gleich etwas näher eingehen, weil wir später noch einmal darauf zurückgreifen müssen und überhaupt die Verwendung der Thermokräfte zu Temperaturmessungen in der nächsten Zukunft voraussichtlich in allen Zweigen der Technik Anwendung finden wird.

Digitized by Google

Erwärmt man ein Stück A B eines Leiters auf der einen Seite, während die andere auf niedriger Temperatur bleibt, so entsteht in dem Leiter bekanntlich eine elektromotorische Kraft, welche man thermoelektrische Kraft nennt. Dieselbe ist gleich der Temperaturdifferenz der beiden Enden $T_A - T_B$ multipliziert mit einer Konstanten K, welche vom Material des Leiters abhängt. Verbinde ich die beiden Enden A und B des Leiters, dessen eines Ende ich in einer Flamme erhitzt habe, durch Drähte mit einem Stromzeiger, z. B. einem Westonschen Millivoltmeter, so wird dieses einen Ausschlag zeigen oder auch in der Nulllage bleiben, je nachdem der Leiter A B aus demselben oder aus einem anderen Material besteht als die Zuleitungsdrähte. Ich habe den Stromzeiger an jeder Klemme mit einem Zuleitungsdraht aus Kupfer und einem zweiten aus Konstantan versehen. Die freien Drahtenden sind zu einer Schleife gebogen. Lege ich einen Leiter A B aus Kupfer, welcher an der Seite A erwärmt worden ist, in die kupfernen Zuleitungsdrähte, so sehen Sie keinen Ausschlag, lege ich ihn in die Konstantandrähte, so sehen Sie einen kräftigen Ausschlag nach links, nehme ich dagegen einen Leiter aus Konstantan und lege ihn in die Kupferdrähte, so werden Sie einen Ausschlag nach der rechten Seite bemerken, während bei dem Einlegen in die Konstantandrähte der Zeiger auf Null bleibt. Die Erklärung ergibt sich bereits aus dem Gesagten: In dem auf der Seite A zur Temperatur T_A erhitzten Kupferleiter A B haben wir eine elektromotorische Kraft

$$(T_A - T_B)K_{Cu}.$$

Legen wir diesen Leiter in die kupfernen Leitungsdrähte ein, so erwärmt sich der Berührungspunkt des Drahtes bei A sofort auf die Temperatur des Endes A und wir erhalten in diesem Zuleitungsdraht wieder eine elektromotorische Kraft, welche gleich

$$(T_A - T_B)K_{Cu}$$

ist, aber umgekehrte Richtung wie die erste besitzt, dieser also in dem Stromkreise das Gleichgewicht hält. Legen wir den Leiter in die Konstantandrähte, so erwärmt sich der Berührungspunkt ebenfalls auf die Temperatur T_A, die elektromotorische Kraft in diesem Draht ist aber gegeben durch den Ausdruck

$$(T_A - T_B)K_{Cst}$$

und die elektromotorische Kraft im ganzen Kreise durch

$$(T_A - T_B)\ (K_{Cu} - K_{Cst}).$$

Digitized by Google

Die wirksame elektromotorische Kraft ist daher gegeben durch die Temperaturdifferenz der Berührungsstellen multipliziert mit der Differenz der thermoelektrischen Konstanten der in Berührung tretenden Metalle. In der Praxis hat man es hauptsächlich mit der thermoelektrischen Differenz der verschiedenen Metalle gegen Kupfer zu thun, weil die Stromzuleitungen fast immer aus Kupfer hergestellt werden.

Die elektromotorischen Kräfte sind verhältnismässig klein; sie besitzen im allgemeinen eine Grössenordnung von einigen Millionstel-Volt für 1° Temperaturunterschied. Nichtsdestoweniger müssen sie bei Messwiderständen für feine Messungen, namentlich bei solchen für kleine Werte, durch den Bau des Apparates und durch die Auswahl des Materials sorgfältig vermieden werden.

Von den beiden besprochenen Legierungsgruppen besitzen nun die Nickellegierungen eine hohe Thermokraft gegen Kupfer, die Manganlegierungen eine kleine. In der Kurventafel Fig. 3 sind die Werte der thermoelektrischen Kräfte gegen Kupfer bei Zimmertemperatur, für die Nickellegierungen durch die punktiert angegebene Kurve ϑ verzeichnet. Die Kurve steigt anfangs rasch, dann langsamer und erreicht ihr Maximum bei der Legierung mit 46 % Nickel, welche auch den höchsten spezifischen Widerstand und den grössten negativen Temperaturkoëffizient ergeben hat. Der hier erreichte Wert von + 39 Mikrovolt für 1° C. dürfte die grösste Thermokraft sein, welche zwischen einem dehnbaren Metall und Kupfer bei Zimmertemperatur bisher beobachtet worden ist. Bei dem Konstantan ist sie nur um weniges geringer, sie beträgt hier etwa 37 Mikrovolt für 1° C. Die Manganlegierungen besitzen im Gegensatz dazu eine kleine negative thermoelektrische Kraft gegen Kupfer im Betrage von etwa 2 bis 3 Mikrovolt. Durch einen Nickelzusatz zu der Legierung von 2 bis 3 %, welcher die sonstigen elektrischen Eigenschaften nicht wesentlich verändert, kann diese Thermokraft noch fast vollständig ausgeglichen werden.

Auf Grund dieser Beobachtungen wird nun eine Legierung von etwa 12 % Mangan mit 2 % Nickel und 86 % Kupfer von der Isabellenhütte unter dem Namen Manganin in den Handel gebracht. Sie stellt das vorzüglichste Material für elektrische Präzisionswiderstände dar, welches wir bis jetzt kennen. Dasselbe ist allerdings gegen Oxydationen durch die Luft bei höheren Temperaturen empfindlich und darf deshalb nur lackiert verwandt werden.

Für Regulier- und Belastungswiderstände sowie für solche Messwiderstände, welche zeitweilig hohe Belastungen auszuhalten haben,

Digitized by Google

benützt man aus dem letzteren Grunde besser Konstantan und beseitigt, wenn es nötig ist, den Einfluss der Thermokraft durch geeignete konstruktive Anordnungen.

Mit der Einführung der neuen Legierungen musste eine konstruktive Durchbildung der Apparate — zunächst der Normalwiderstände und der Starkstrommesswiderstände — Hand in Hand gehen. Ich kann hier nur die hauptsächlichsten Gesichtspunkte, die dabei massgebend waren, kurz andeuten. Um die Unveränderlichkeit der Werte zu sichern, mussten vor allen Dingen zusammengesetzte Leiter mit Berührung der Einzelleiter untereinander als Drahtseile und Drahtgaze von der Verwendung ausgeschlossen werden. Die Widerstandsdrähte oder -Bleche, aus denen der eigentliche Widerstand besteht, mussten in die kupfernen Zuleitungen ohne irgend welche Spalten durch feste metallische Vereinigung übergeführt werden. Auch Zinnlötung erwies sich an diesen Uebergangsstellen als nicht zuverlässig genug. Vielmehr muss der Apparat so gebaut werden, dass es möglich war, bei der Herstellung die Verbindungsfugen der Widerstandsleitungen und der Zuleitungen mit Silberlot glatt ausfliessen zu lassen. Ferner mussten die Apparate für Aufnahme möglichst grosser Energiemengen geeignet gemacht, also mit möglichst vollkommenen Vorkehrungen für Abführung der entstehenden Wärme versehen werden. Die Einrichtung der Apparate im einzelnen ist in einigen Aufsätzen von der Zeitschrift für Instruktion und in den wissenschaftlichen Abhandlungen der Reichsanstalt, auf welche ich hier Bezug nehmen muss, beschrieben worden. Durch das Entgegenkommen der Herren Hartmann und Braun sind ferner einige Probestücke der besprochenen Apparate hier aufgestellt worden, an denen ich die erwähnten Einrichtungen in Augenschein zu nehmen bitte.

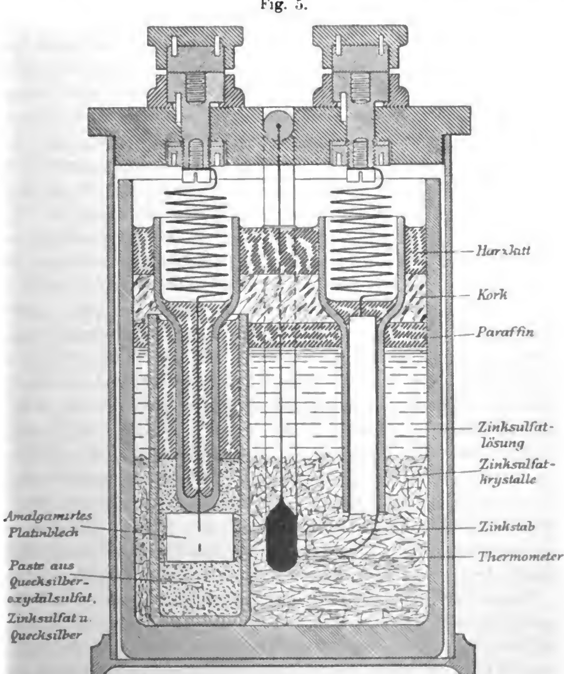
Die Normalwiderstände und Starkstrommesswiderstände bilden, wie Sie sehen, mit dem Kompensationsapparate ein zusammenhängendes System von elektrischen Normalmessapparaten, welches durch die angegebenen Untersuchungen und Konstruktionen seine erste Ausbildung erfuhr. Verschiedene elektrotechnische Firmen und Konstrukteure haben sich um die weitere Entwickelung desselben Verdienste erworben.

Neben den Widerstandsapparaten gebrauchen wir für die Messung ein Hilfsmittel, welches die Stärke des Stromes im Kompensationsapparat auf seinen normalen Wert einzustellen gestattet. Zu diesem Zweck sind vorläufig von uns Clarksche Normalelemente benützt worden. Diese besitzen eine jahrelang unveränderliche elektromotorische Kraft von rund 1,434 Volt bei 15 ° C., dürfen aber nur mit geringen

Digitized by Google

Stromstärken (nicht über 0,00001 Ampere) beansprucht werden. Richtig hergestellte Elemente dieser Art weichen von dem Sollwert in der Regel nicht mehr als 0,0001 bis 0,0003 Volt ab. Bei Abweichungen von mehr als 0,0005 Volt werden die Elemente längere Zeit vor der

Fig. 5.



Ausgabe beobachtet, bei Abweichungen von mehr als einem Tausendstel Volt werden sie nicht mehr beglaubigt.

Die ursprünglich von uns angegebene Form ist in Fig. 5 dargestellt. Die Paste aus schwefelsaurem Quecksilberoxydul, welche das als positive Elektrode dienende amalgamierte Platinblech umgibt, ist in eine Thonzelle eingeschlossen. Der die negative Elektrode bildende

Digitized by Google

Zinkstab ist unten umgebogen und oben mit einem Glasrohre umgeben. Der Elektrolyt besteht aus einer gesättigten Lösung von schwefelsaurem Zink, welche bis über die beiden Elektroden mit Krystallen dieses Salzes angefüllt ist. In dieser Form haben sich die Clarkschen Normalelemente in der Praxis bewährt.

Jedoch ist nicht zu verkennen, dass das Normalelement den unsichersten Punkt in dem Messsystem bildet, und dass die grosse Abhängigkeit desselben von der Temperatur bei dem Gebrauche lästig ist. Von den zahlreichen Versuchen zur Verbesserung der Normalelemente ist namentlich eine Abänderung, welche von Herrn Weston in Newark ausgebildet ist, bemerkenswert. Dieser ersetzt das Zink durch Kadmiumamalgam und das Zinksulfat durch Kadmiumsulfat. Die elektromotorische Kraft des auf diese Weise hergestellten Westonschen Normalelementes ist von der Temperatur nur wenig abhängig.

Eingehende Untersuchungen, welche in der Reichsanstalt mit den Kadmiumelementen angestellt worden sind, haben ergeben, dass diese Elemente in wissenschaftlichen Laboratorien mit Vorteil an Stelle der Clarkschen Elemente angewandt werden können, um von dem Einfluss der Temperaturschwankungen des Arbeitsraumes unabhängiger zu sein, und dass sie auch für den Gebrauch in der Praxis insofern einen Vorteil bieten würden, als man durch eine bestimmte Bemessung des Kadmiumzusatzes zu dem Amalgam die elektromotorische Kraft auf genau 1 Volt bringen kann. Für die Ausgabe als beglaubigte Elemente eignen sie sich jedoch weniger als die Clarkelemente. Die letzteren zeigen nämlich bei richtiger Zusammensetzung mittels reiner Materialien immer dieselbe elektromotorische Kraft von 1,434 Volt bei 15° C., die Kadmiumelemente können dagegen alle Werte zwischen 1,00 Volt und 1,02 Volt erhalten. Bei einem Clarkelement erkennt man daher durch eine einmalige Vergleichung mit dem Hauptnormal, ob dasselbe richtig hergestellt worden ist und dementsprechend seine elektromotorische Kraft dauernd unverändert zu halten verspricht, bei einem Kadmiumelement ist dagegen ein Schluss auf die Unveränderlichkeit der elektromotorischen Kraft nur nach einer Wiederholung der Messungen nach langer Zeit möglich.

Vorhin hatte ich gesagt, dass die Normalelemente vorläufig zur Einstellung des Kompensationsstromes herangezogen worden seien. Als eigentlicher fundamentaler Normalapparat der elektrischen Spannung sollten sie weder zum Gebrauche der Reichsanstalt, noch zur Ausgabe für die Technik dienen; sie sollten vielmehr nur als ein vorübergehendes Aushilfsmittel angesehen werden, welches nur so lang eine



Digitized by Google

Berechtigung hat, bis die Instrumententechnik uns einen vollkommeneren Apparat an die Hand gibt. In einem galvanischen Elemente finden auch im offenen Zustande immer chemische Umsetzungen statt, welche schliesslich zu einer Aenderung der elektromotorischen Kraft und zu völliger Erschöpfung derselben führen müssen. Es dürfte sich nun nicht allzuschwer eine kleine Stromwage bauen lassen, welche die eine bestimmte Stromstärke, die für unsere Zwecke in Frage kommt, mit grosser Schärfe erkennen lässt. Ein solcher Apparat würde vor den Normalelementen erhebliche Vorzüge haben. Der Bau von Präzisionsstrommessern hat in der neuesten Zeit so erhebliche Fortschritte gemacht, dass wir wohl erwarten dürfen, auch für den genannten Zweck bald einen geeigneten Apparat zu erhalten.

Die bisher besprochenen Arbeiten verfolgten in erster Linie den Zweck, für die Reichsanstalt das Normalmessverfahren für Gleichstrom von niederer Spannung durchzubilden und zu sichern. Der Einfluss derselben erstreckte sich in der Folge allerdings weiter. Demnächst erwuchs der Reichsanstalt nun die Aufgabe der Messung von hochgespanntem Gleichstrom und von Wechselstrom von niedriger und hoher Spannung eingehendere Beachtung zuzuwenden. Diese Arbeiten sind gegenwärtig noch in den Anfängen der Entwickelung begriffen, sodass ich nur Einzelheiten daraus hervorheben kann. Im ganzen besteht dabei das Bestreben, das vorher beschriebene Normalmassverfahren, soweit es angängig ist, auch auf die letztgenannten Gebiete zu übertragen.

In der Technik gewinnt die Anwendung hochgespannter Ströme zur Zeit eine rasche Verbreitung. Es sind dies jedoch fast ausschliesslich Wechselströme. Die Form des Wechselstromes bringt nun für genaue Untersuchungen sehr erhebliche Komplikationen mit sich, so dass es wünschenswert ist, bei den Prüfungs- und Aichungsarbeiten immer vom Wechselstrom von hoher Spannung auf hochgespannte Gleichströme zurückgreifen zu können. Während es nun bei Wechselstrom verhältnismässig leicht ist, durch Umformer hohe Spannungen herzustellen, bietet dies bei Gleichstrom erhebliche Schwierigkeiten. Dazu trägt bei, dass von Maschinen gelieferter Gleichstrom für Messungszwecke schon bei niedriger Spannung wenig geeignet, bei hohen Spannungen aber für viele Zwecke geradezu unbrauchbar ist. Dadurch wurde uns die Herstellung einer Hochspannungsbatterie nahe gelegt. Dieselbe sollte mindestens die Spannung, welche in Hochspannungsanlagen gegenwärtig angewandt wird,

Digitized by Google

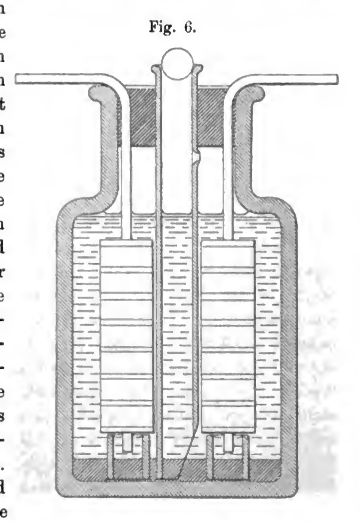
herzustellen gestatten und dabei Ströme von 0,1 Ampere bei normaler Entladung ausgeben können. Für so hohe Leistungen konnten nur Bleiakkumulatoren in Frage kommen. Bisher waren dieselben allerdings bei den Versuchen, hohe Spannungen mit denselben herzustellen, immer bald zu Grunde gegangen. Die Ursache für diese Erscheinung ist wohl darin zu suchen, dass die Schwefelsäure bei der Ladung durch die Gasblasen mitgerissen wird und sich auf der Umgebung niederschlägt, ausserdem über die Verbindungsstreifen der Elektroden hinkriecht und Nebenschlüsse herstellt, welche bei der hohen Spannung und der kleinen Kapazität der Elemente bald zu einer Entladung einzelner Zellen und zum Zerfallen der Elektroden Veranlassung geben. An einer Probebatterie von 500 kleinen Elementen in Reagenzgläsern, welche wir zunächst von einer Akkumulatorenfabrik bezogen hatten, traten die genannten Erscheinungen bald hervor. Daher gingen wir dazu über, Elemente herzustellen, welche gegen den Austritt der Säure möglichst gesichert sein sollten. Nachdem wir mehrere Monate hindurch günstige Erfahrungen mit diesen gemacht hatten, schritten wir zum Bau der grossen Batterie, welche seit einem Vierteljahre der Hauptsache nach fertig gestellt ist und sich bisher gut gehalten hat.

Ein Element von der Bauart, welche in der Hochspannungsbatterie zur Verwendung gekommen ist, habe ich hier mitgebracht (s. Fig. 6). Die Gefässe sind gewöhnliche Pulvergläser von 60 ccm Inhalt. Die Elektroden bestehen aus Bleigittern von 12 mm Länge, 10 mm Breite und 40 mm Höhe und sind in der gewöhnlichen Weise mit Bleioxyden ausgestrichen. Sie stehen unten in kleinen Glasfüsschen, welche auf dem Boden des Gefässes festgekittet sind. Zwischen den Elektroden steht ein Glasröhrchen, welches ebenfalls am Boden eingekittet ist und oben und unten eine kleine seitliche Oeffnung besitzt. Die untere Oeffnung dient zum Durchtritt der Säure, das obere Loch zum Austritt der Gase. Das Glasröhrchen ragt einige Millimeter über den Hals des Fläschchens hervor und wird durch einen Glasstöpsel oder Bleikügelchen lose verschlossen. Ausser dieser einen Oeffnung ist der Hals des Fläschchens mit einer Kabelisolationsmasse säuredicht zugeschmolzen. Die bei der Ladung entwickelten Gase müssen demnach vor ihrem Austritt zwei Räume durchstreichen, welche nur durch das enge Loch in dem Glasröhrchen verbunden sind. Auf diesem Wege setzen sie die mitgerissene Säure vollständig ab. Das einzelne Element hat ein Gewicht von 250 g und eine Kapazität von etwa einer Amperestunde.

Digitized by Google

In der Batterie sind je 25 Elemente auf einem Brettchen, das auf 4 Porzellanisolatoren steht, mit Paraffin festgegossen, und 20 Brettchen mit Elementen übereinander in einen eisernen Rahmen von 3 m Höhe und 60 cm Breite eingesetzt. Die Elemente eines Rahmens sind alle in Hintereinanderschaltung fest verlötet, so dass die Endelemente des Rahmens eine Spannung von 1000 Volt gegeneinander besitzen. Zehn Rahmen hängen nebeneinander mit einem freien Luftabstand von mindestens 5 cm nach allen Richtungen hin in einem eisernen Glasschranke an je zwei Porzellandoppelglocken. Die letzteren sind an zehn kleinen Wagen befestigt, welche auf elf die Decke des Schrankes bildenden I-Eisen laufen. Mit dem Wagen kann man jeden Rahmen leicht um seine eigene Breite aus dem Schranke vorziehen, so dass man die einzelnen Elemente jederzeit nachsehen kann. Je zwei Rahmen sind oben durch eine bewegliche Leitung dauernd miteinander verbunden. Wir besitzen also in dem Schranke fünf Reihen von je 1000 Elementen. Diese fünf Reihen werden einzeln oder in Parallelschaltung durch eine kleine Maschine geladen, welche 2 bis 3000 Volt und etwa 0,5 Ampere zu liefern im stande ist. Die Schalteinrichtungen sind infolgedessen auf ganz wenige Verbindungen beschränkt. Sie werden durch lose Drahtbügel zwischen Quecksilbernäpfen hergestellt, welche an den unteren Enden der Rahmen und in zwei mit den Zuleitungen in Verbindung stehenden Kupferschienen angebracht sind. Für den Gebrauch wird die erforderliche Anzahl der Rahmen durch die eingelegten Drahtbügel hintereinander geschaltet, während in der Ruhe je zwei Rahmen ausser den vier Doppelglocken, an denen sie hängen, von jeder Berührung mit festen Körpern getrennt sind. Für Zuschaltung kleinerer Abteilungen sind 500 Elemente in einem besonderen Schranke untergebracht und von dieser Reihe gut isolierte

Fig. 6.



Digitized by Google

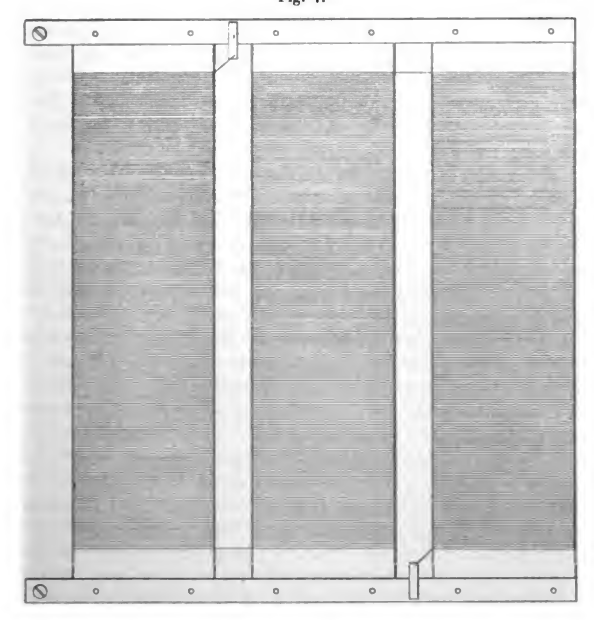
Abzweigleitungen nach einem Doppelkurbelschalter geführt. Bei dem Gebrauche liegen diese Zuschaltzellen immer an dem mit der Erde in Verbindung stehenden Pole. Die Schlagweite beträgt bei 9000 Volt über 1 cm. Die Stromstärke steigt bei geringem äusseren Widerstande, z. B. bei dem Durchschlagen von Isolationen, bis über 13 Ampere. Es wird demnach in diesem Augenblick eine Energie von reichlich 160 Pferdestärken entwickelt. Um den Strom bei solchen Versuchen rasch zu unterbrechen, wird ein Abschmelzdraht von 0,03 mm Stärke eingeschaltet. Dieser muss über 40 cm lang sein, damit sich kein Lichtbogen zwischen den Klemmen bildet. In der Regel wird bei dem Gebrauche ein Sicherheitswiderstand von einer halben bis einer Million Ohm vorgeschaltet. Dann kann man die Elektroden ohne Schaden zu nehmen anfassen. Man erhält einen Funkenstrom, der das Gefühl wie bei kräftigen Elektrisiermaschinenfunken erzeugt.

Bei dem Arbeiten mit hohen Spannungen macht sich der Mangel geeigneter Messwiderstände sehr fühlbar. Es werden hier hohe Widerstandsbeträge, gute Isolation, die namentlich gegen Durchschlagen Sicherheit bietet, und beträchtliche Energiekapazität erfordert; dabei soll auch die Selbstinduktion und die elektrostatische Kapazität gering sein. Die für Messwiderstände von höheren Beträgen bisher vorzugsweise angewandten Widerstandsrollen aus bifilar aufgewickelten, mit Seide umsponnenen Drähten vermeiden zwar die Selbstinduktionserscheinungen gut, sind aber für höhere Spannungen deswegen nicht geeignet, weil bei ihnen Anfang und Ende des Drahtes nahe bei einander liegen, so dass durch die hohen Spannungsdifferenzen an diesen Punkten die Isolation leicht durchschlagen wird, und auch Ladungserscheinungen auftreten, welche Störungen verursachen können. Es wurden nun viele Versuche in der Reichsanstalt angestellt, um eine Form von Widerständen zu finden, welche die genannten Mängel vermeidet und gleichzeitig hohe Widerstandsbeträge ohne allzugrosse Kosten herzustellen gestattet. Bei diesen Versuchen hat sich eine Art am besten bewährt, von der ich hier einige Proben herumreichen will (s. Fig. 7). Es sind dünne Glimmerblätter, welche mit einer einfachen Lage feinen umsponnenen oder nackten Drahtes bewickelt sind. Der Draht ist durch einen Schellackanstrich auf den Glimmer festgekittet. Die Drähte der Vorder- und Rückseite liegen mit entgegengesetzter Stromrichtung kaum $^1/_4$ mm voneinander entfernt, dadurch wird die Selbstinduktion fast ganz aufgehoben. Da nur eine einfache fortlaufende Wirkung vorhanden ist, liegen die Punkte mit grössten Spannungsunterschieden an den entgegengesetzten Enden des Glimmer-

Digitized by Google

blattes, so dass die Gefahr des Durchschlagens der Isolation und die Ladungserscheinungen beseitigt sind. Zur Bewickelung eignet sich blanker Konstantandraht besonders gut, weil derselbe sich vermöge seiner grossen Festigkeit und Dehnbarkeit sehr fein ziehen lässt. Zweckmässig lässt man ihn ausserdem noch flach walzen und zwischen einem feinen Zahnrad mit Wellen versehen. Durch das letztere Verfahren

Fig. 7.



erhält er eine gewisse Elastizität, so dass er auch bei höheren Temperaturen, falls der Lack weich geworden sein sollte, noch straff gespannt bleibt. Einige Proben von geglättetem und gewelltem Konstantandraht will ich hier noch herumgehen lassen. Die feinste darunter besitzt einen Widerstand von 780 Ohm auf 1 m. Ein Glimmerblatt, welches mit diesem Drahte so bewickelt wird, dass 20 Windungen auf

Digitized by Google

1 cm Länge aufgebracht werden, enthält daher etwas über 30000 Ohm auf 1 qdcm. Die Belastung kann, wenn die Blätter senkrecht angeordnet sind, so dass die Luft zwischen ihnen hindurchstreichen kann, bis 10 Watt auf das Quadratdecimeter betragen.

Zwei Dekadenwiderstandssätze mit Glimmerblattwiderständen, welche wir bei unseren Arbeiten mit hohen Spannungen in Gebrauch haben, sind nach der hier ausgestellten Zeichnung (s. Fig. 8) hergestellt worden. Sie sind so eingerichtet, dass die Glimmerblätter senkrecht stehen und über und unter denselben sich gelochtes Blech befindet, so dass ein kühlender Luftstrom zwischen ihnen hindurchstreichen kann. Die beschriebene Konstruktion der Glimmerblattwiderstände eignet sich im übrigen auch gut zu Vorschaltwiderständen in Messapparaten und ist für diesen Zweck auf die Anregung der Reichsanstalt hin bereits mehrfach in Anwendung gekommen.

Schliesslich werden in der Reichsanstalt zur Zeit noch Versuche angestellt zur Herstellung sehr hoher Widerstände von mehreren Millionen Ohm aus dünnen Schichten von Platinlegierungen, welche nach einem von Herrn Kundt erfundenen Verfahren auf Porzellan eingebrannt werden. Sofern Messwiderstände von genügend hohem Betrage und genügender Energiekapazität zur Verfügung stehen, kann die Messung hoher Gleichstromspannungen nach den früher erörterten Methoden erfolgen. Durch die uns in der Hochspannungsbatterie zur Verfügung stehenden hohen Gleichstromspannungen sind wir daher in den Stand gesetzt, genaue Aichungen von statischen Spannungsmessern und ähnlichen, vorzugsweise für Messung hoher Wechselstromspannungen dienender Apparate vorzunehmen.

Die eigentlichen Wechselstrommessapparate dagegen bedürfen im allgemeinen in noch höherem Masse, als seiner Zeit die Gleichstromapparate, der Vervollkommnung. Die Reichsanstalt war bis vor kurzem aus Mangel an geeigneten Räumen nicht in der Lage, sich mit Wechselstrommessungen zu befassen. Seit etwa einem halben Jahre ist dem genannten Mangel zwar abgeholfen, indessen waren die Beamten durch die laufende Prüfungsthätigkeit und durch die Ausrüstung der neuen Diensträume mit elektrischen Anlagen so sehr in Anspruch genommen, dass für Wechselstromuntersuchungen wenig Zeit verfügbar blieb. Ich will nun versuchen, die Ziele, welche auf diesem Gebiete zur Zeit verfolgt werden, kurz darzulegen.

Bei den in der Technik angewandten Wechselströmen geht die Spannung und Stromstärke bekanntlich 50 bis 60mal in einer Sekunde zwischen einem positiven und einem negativen Höchstbetrage hin und

Digitized by Google

her. Die Aenderung von Spannung und Strom innerhalb einer solchen Periode zeigt bei den einzelnen Maschinentypen einen sehr verschiedenen

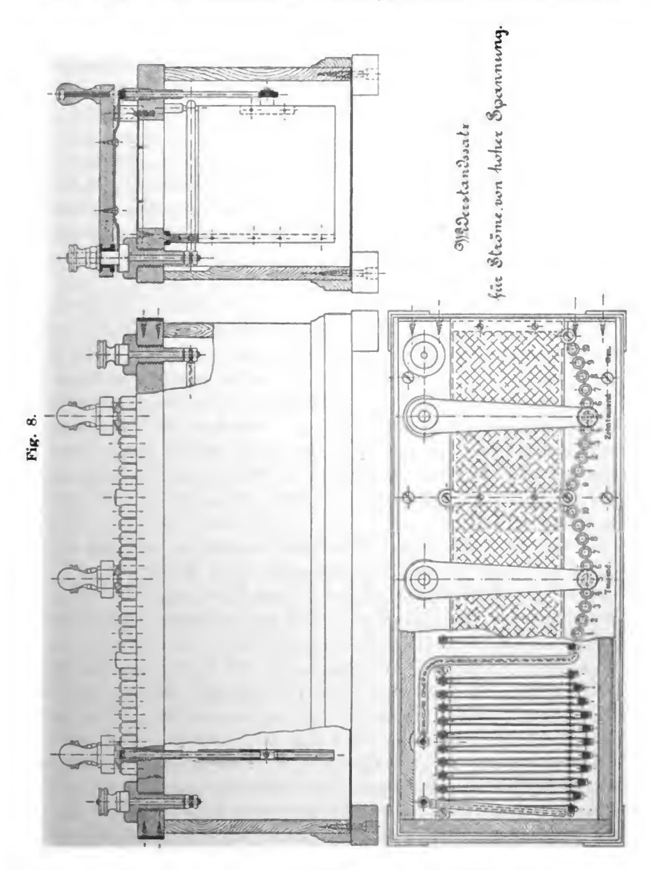


Fig. 8.

Verlauf. Verzeichnet man in einer Figur die Zeitdauer einer Periode als Abscisse und die den einzelnen Zeitpunkten entsprechenden Span-

Digitized by Google

nungen oder Stromstärken als Ordinaten, so erhält man eine Kurve, welche den betreffenden Wechselstrom charakterisiert und die Spannungs- bezw. Stromkurve desselben genannt wird. Messen kann man die Spannung, welche in einem bestimmten, kurzen Abschnitt einer Periode zwischen irgend zwei Punkten eines Wechselstromkreises besteht, recht gut mittels des Kompensationsverfahrens, wenn man auf der Achse der erzeugenden Maschine einen rotierenden Kontakt anbringt, welcher immer nur während desselben, genügend klein bemessenen Abschnitts einer Periode die Verbindung der fraglichen Punkte des Stromkreises mit dem Kompensationsapparate herstellt. Bestimmt man so nacheinander die Spannungen während beispielsweise der einzelnen Hundertstel der Periode, so erhält man eine Reihe von Werten, aus denen man die charakteristische Kurve ohne weiteres zusammenstellen kann.

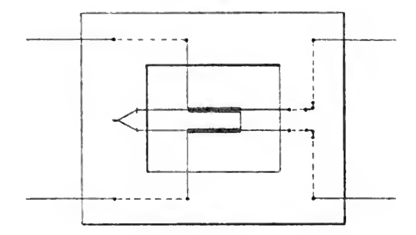
Wegen der grossen Anzahl der erforderlichen Einzelbeobachtungen ist die Aufnahme von Stromkurven in dieser Weise jedoch langwierig. Etwas abgekürzt wird sie schon, wenn man an die Stelle des Kompensationsapparates ein mit demselben geaichtes Elektrometer setzt, weil dann jedesmal nur die Einstellung der Nadel abgelesen zu werden braucht. Eine ausgedehntere Anwendung von der Aufnahme der Stromkurven wird sich jedoch erst dann machen lassen, wenn es gelingt, einen Apparat herzustellen, welcher die Kurven in korrekter Weise selbstthätig aufzeichnet. Versuche mit einem solchen Apparat sind beabsichtigt.

Bei den technischen Wechselstrommessungen will man in der Regel aus einer einzigen Zeigerablesung einen Mittelwert der Spannungen oder Stromstärken erhalten. Diese Forderung stellt wegen der Verschiedenheit der Stromkurven und Wechselzahlen hohe Anforderungen an die Leistung der Messapparate. Am besten werden sie wohl noch durch die Hitzdrahtspannungsmesser erfüllt. In diesen Apparaten findet jedoch ein beträchtlicher Energieverbrauch statt, welcher die Anwendung in vielen Fällen erschwert und manche andere Uebelstände im Gefolge hat. Ich kann Ihnen nun hier einen kleinen Apparat für Wechselstrommessung vorzeigen, welcher die Aussicht bietet, den Energieverbrauch im Messapparat wesentlich zu verringern und gleichzeitig die Wechselstrommessungen auf Gleichstrommessungen und die für diese bereits im Gebrauche befindlichen vollkommenen Messmethoden und Messapparate zurückzuführen. In der Form, in welcher derselbe vorliegt, ist er für den Anschluss an Spiegelgalvanometer bestimmt, es ist jedoch zu erwarten, dass er sich auch so abändern lässt, dass

Digitized by Google

er im Anschluss an technische Präzisionsspannungsmesser gebraucht werden kann. Der Apparat besteht aus mehreren — in der vorliegenden Probe (s. Fig. 9) aus zwei — hintereinander geschalteten Thermoelementen aus Konstantan- und Kupferdrähten von 0,1 mm Dicke. Jedesmal die zweite Lötstelle ist mit einer Bewickelung aus umsponnenem Manganindraht von 0,05 mm Dicke versehen. Das Ganze ist auf einem in der Mitte mit einem Ausschnitte versehenen Glimmerblatt so befestigt, dass in der Nähe der bewickelten Lötstellen sich keine festen Teile befinden. Durch die Bewickelungen wird der zu messende Wechselstrom geschickt. Dabei erhitzt derselbe die ungraden Lötstellen, während die anderen auf Zimmertemperatur bleiben. Die Zuleitungen der Thermoelemente werden an ein Galvanometer angeschlossen, dessen Ausschlag ein Mass für den die Bewickelung durch-

Fig. 9.



fliessenden Wechselstrom liefert. Man aicht den Apparat mittels Gleichstrom. Wurde beispielsweise an die Bewickelungen eine Spannung ε von 2 Volt angelegt, so zeigte das benützte D'Arsonval-Galvanometer von 10000 Ohm Widerstand einen Ausschlag α von etwa 800 Skalenteilen. Die Abhängigkeit des letzteren von der Spannung des primären Stromes ist durch den Ausdruck gegeben:

$$\alpha = \text{Const}\ \varepsilon^2.$$

Die Ausschläge wachsen also mit dem Quadrate der primären Spannung. Das Messbereich ist infolgedessen, wie bei allen Apparaten, deren Angaben von der Stromrichtung unabhängig sind, verhältnismässig klein. Ein Gegengewicht hiegegen kann man dadurch herstellen, dass man eine grössere Anzahl von Thermoelementen hintereinander schaltet, deren Bewickelungen nach Bedürfnis nebeneinander und hintereinander verbunden werden können. Bei der Konstruktion

Digitized by Google

muss vor allen Dingen darauf gesehen werden, dass die erwärmten Teile wenig Masse besitzen, damit die Temperatur nach dem Einschalten oder Ausschalten des primären Stromes bald konstant wird und die Einstellung des Galvanometer einen festen Punkt erreicht. Bei dem vorliegenden Versuchsmodell ist dies in $^1/_2$ bis 1 Minute der Fall. Der Apparat ist erst im Laufe der letzten Wochen entstanden; an seiner Ausbildung wird noch gearbeitet.

Die für die Wechselstromarbeiten erforderlichen maschinellen Anlagen der Reichsanstalt konnten erst zum kleineren Teile fertiggestellt werden. Nur eine kleine Wechselstrommaschine mit eisenfreiem Anker, welche durch einen Elektromotor mit Riemen angetrieben wird, ist bisher in Benützung genommen worden. Mit dem Strome derselben können unter anderem zwei Transformatoren für Spannungen bis 4000 und 36000 Volt bethätigt werden. Ausserdem ist noch eine Dreh- und Wechselstrommaschine für 16 Kilowatt aufgestellt worden, welche demnächst Antrieb durch einen direkt gekuppelten Elektromotor erhalten soll. Mittels auswechselbarer Polschuhe verschiedener Gestalt können verschiedene Formen der Stromkurve hergestellt werden. Der Strom dieser Maschine, welcher eine Spannung von 60, 120 oder 240 Volt besitzt, soll bei der Prüfung von Messapparaten im allgemeinen in Transformatoren geleitet werden, welche ausser einer primären Wickelung zwei leicht auswechselbare sekundäre Wickelungen besitzen. Die eine derselben, mit wenigen dicken Windungen, soll zur Erzeugung hoher Stromstärken, die andere, mit zahlreichen feinen Windungen, zur Erzeugung hoher Spannungen dienen. Die elektromotorischen Kräfte der so gebildeten Niederspannungs- und Hochspannungsstromkreise werden gleiche Phase und, abgesehen von der absoluten Höhe, auch gleiche Kurve besitzen, so dass es möglich sein wird, bei der Prüfung von Energiemessern und Energiezeitmessern für grosse Beträge in gleicher Weise wie bei Gleichstrom zwei getrennte Stromkreise, den einen mit hoher Stromstärke, den anderen mit hoher Spannung, anzuwenden, um mit verhältnismässig geringem Energieverbrauch die Messung durchführen zu können. In bestimmten Fällen wird es ausserdem noch erforderlich sein, die Phase des einen Stromes um einen beliebigen Winkel gegen die des anderen zu verschieben. Die verschiedenen Einrichtungen, welche diese Forderung zu erfüllen geeignet sind, sollen demnächst erst einer näheren Prüfung unterzogen werden.

Digitized by Google

Ueber die „Planté-Accumulatoren“.

Von

Dr. P. Schoop.

Mit 28 Abbildungen.

Unter „Planté-Accumulator“ wird nicht nur der von Gaston Planté vor etwa 30 Jahren konstruierte und nach dessen ursprünglichem Verfahren hergestellte Accumulator verstanden, sondern überhaupt irgend ein elektrischer Sammler, welcher ohne Zuhilfenahme von Bleioxyden oder Bleisalzen aufgebaut wird. Der Begriff „Planté-Accumulator“ hat sich als Gegensatz zu der Bezeichnung „Faure-Accumulator“ ausgebildet, wesentlich durch den Umstand, dass bis vor kurzer Zeit die nach Faures Verfahren erstellten Accumulatoren unter dessen Patent fielen und sich ein Monopol auf Grund des Faure-Patents gebildet hatte. Denjenigen Fabrikaten, welche auf einem vom Faure-Patent unabhängigen Wege erhalten wurden, lag gewöhnlich eine dem Plantéschen Vorbild ähnliche elektrische Behandlung zu Grunde, so dass manche derselben um so eher Planté-Accumulatoren genannt werden konnten.

Seit dem Erlöschen des Faure-Patents in den europäischen Staaten (in Amerika bestehen die denselben Zweck verfolgenden Brush-Patente noch) ist der Hauptanlass, zwischen Faure- und Planté-Accumulatoren scharf zu unterscheiden, weggefallen und nun stellt es sich heraus, dass diese Gruppierung aller Bleiaccumulatoren kaum mehr aufrecht erhalten werden kann. Es gibt nämlich Fabrikate, bei welchen die eine Elektrode (z. B. die Schwammbleiplatten) nach dem Vorbild von Faure und die andere Elektrode (z. B. die Superoxydplatten) nach demjenigen von Planté gestaltet ist.

Digitized by Google

In vorliegender Zusammenstellung sind diejenigen Konstruktionen von Platten für elektrische Accumulatoren beschrieben, welche sich für die Kapazitätsgebung auf elektrochemischem Wege, ohne mechanische Anbringung von Bleioxyden oder Bleisalzen, eignen — und in Verbindung damit diejenigen Verfahren angeführt, nach welchen diese Elektroden mit der nötigen Kapazität (oder Aufspeicherungsfähigkeit) versehen werden. Bei dieser Auswahl sind nur diejenigen Elektroden berücksichtigt worden, welche technisch ausgeführt werden oder wurden, wobei (soweit die Erfahrungen des Verfassers reichen) jedesmal die besonderen Eigenschaften des betreffenden Systems hervorgehoben sind. — In technischer Hinsicht wird diese Aufführung deshalb lückenhaft sein, weil die Fabriken die betreffenden elektrochemischen Prozesse sämtlich geheim halten oder wenigstens nicht öffentlich gemacht wünschen; dieser Umstand ist bei der mechanischen Konstruktion (welche sich nicht wohl verheimlichen lässt) nicht vorhanden. — Die Zeichnungen der hier angeführten Ausführungen sind, mit alleiniger Ausnahme von Fig. 28 (Schulze) nach Plattenmustern aufgenommen oder reproduziert worden, wodurch eine Vergleichung der verschiedenen Systeme erleichtert wird. Die Ausführungen über die elektrochemischen Methoden stützen sich, wo nicht das Gegenteil bemerkt ist, auf Beobachtungen des Verfassers.

Gaston Planté hat wohl zuerst erkannt, dass der „sekundäre Strom", den die von Gautherot, Ritter und namentlich Sinsteden schon früher untersuchten Voltameter lieferten, als Grundlage für die Aufspeicherung von Elektrizität dienen könne und dessen Arbeiten sind bahnbrechend für die Entwickelung des elektrischen Accumulators gewesen. Die letzte von G. Planté stammende Konstruktion ist von der Firma Bréguet & Co. in Paris fabrikmässig ausgeführt worden und findet sich in den „Recherches sur l'Electricité" von Planté beschrieben. Zwei Bleibleche von 1 bis 2 mm Dicke werden um einen Holz- oder Metallcylinder aufgerollt, wobei durch zwei Paar dazwischen gelegte, parallele Kautschukbänder von 1 cm Breite und ½ cm Dicke der Abstand der beiden Elektroden gesichert wird. Nach der Aufrollung wird der massive Cylinder aus dem Bund herausgezogen und die doppelte Bleiblechspirale an der oberen und unteren Seite durch Anpressen von erwärmten, weich gemachtan Guttaperchaquerstreifen in ihrer Lage befestigt. Die beiden Polenden befinden sich an den entgegengesetzten Enden der beiden Bleibleche, damit der Strom sich gleichmässiger über dieselben verteile. Das Ganze wird in ein passendes, cylindrisches Glasgefäss gestellt und das Gefäss mit

Digitized by Google

verdünnter Schwefelsäure (durch Mischen von 10 Volumteilen Wasser mit 1 Volumteil Schwefelsäure erhalten) angefüllt.

Bei einem von Bréguet bezogenen, derartigen Element waren die beiden Bleche etwa 47 bis 48 cm lang und 18,5 bis 19 cm hoch; beide waren 1 mm dick und wogen (in bereits formiertem Zustand) 2,470 kg. Der Abstand der beiden Bleche voneinander war 5 mm. Die Kapazität dieses Accumulators betrug 5 Ampèrestunden bei 10 % Abfall für die Klemmspannung und 1 Ampère Stromstärke für die Entladung (bei 16,0 ° C.).

Wird nun durch einen, wie beschrieben hergestellten Apparat elektrischer Strom durchgeleitet, so tritt zwar nicht momentan, aber schon nach wenigen Sekunden oder Minuten, je nach der Intensität des Stromes, eine Gasentwickelung auf, indem an dem einen Bleiblech Wasserstoffgas und am anderen Blech Sauerstoffgas aufsteigt. Das Blei verliert bekanntlich an der Luft das glänzende bläulich-weisse Aussehen und überzieht sich mit einem matten Hauch, einer ungemein dünnen Schichte von Bleioxydul. Diese wird nun beim Stromdurchgang verändert und zwar nimmt dieselbe an der Anode (da wo der Sauerstoff auftritt) eine schokoladebraune und an der Kathode (da wo der Wasserstoff erscheint) eine matt-taubengraue Färbung an. Erst nachdem diese Aenderung an den Bleioberflächen sich vollzogen hat, treten die Gase sichtbar auf. Indessen ist die Aufspeicherungsfähigkeit des Apparates sehr gering, und Planté ermittelte daher die Bedingungen, welche zu einer nennenswerten Kapazität führen konnten. Die Kapazität wurde grösser, wenn

1. der Apparat öfter geladen und entladen,
2. die Stromrichtung bei jeder Ladung gewechselt,
3. nach jeder Ladung eine Ruhepause eingeschaltet wurde.

Plantés Vorschrift zur „Formierung" lautet ungefähr folgendermassen:

Man lasse das mit Schwefelsäure angefüllte Element zuerst einen Tag in mässiger Wärme stehen. Am zweiten Tage lade man (mit zwei Bunsen-Elementen) etwa 6mal und wechsle die Richtung des Stromes bei jeder Ladung. Darauf verlängere man die Dauer der Ladung jeden folgenden Tag, z. B. um je 10 Minuten und verlängere ebenso die Ruhepausen zwischen Ladung und darauf folgender Entladung. Nach 2 Monaten etwa lade man den ganzen Tag, lasse einen Tag ruhen und entlade am dritten Tag. Späterhin verlängere man die Ruhepausen bis auf eine Woche, dann bis auf einen Monat.

Digitized by Google

Nach Verlauf eines Jahres soll auf diese Weise der Accumulator eine praktisch annehmbare Kapazität erhalten. Planté selbst suchte diese langwierige und auch kostspielige Operation abzukürzen und stellte zu dem Ende die Bleibleche zuerst einige Stunden in mässig konzentrierte Salpetersäure, bevor der Apparat mit Schwefelsäure gefüllt wurde. Dadurch wurden die Bleibleche allerdings rascher zur Aufspeicherung befähigt, aber die so an der Oberfläche der Bleche erzeugten Schichten lösten sich bald von dem noch unveränderten Bleikern ab, wodurch der Accumulator untauglich wurde.

Immerhin liessen sich nach Plantés ursprünglichem Verfahren Sammler herstellen, welche für gewisse Zwecke (z. B. für physikalische Arbeiten) den bisher bekannten Primärelementen vorzuziehen waren; doch liess der hohe Preis, sowie die geringe Dauerhaftigkeit dieser Accumulatoren eine umfangreichere Verwendung nicht zu, abgesehen davon, dass ein Bedürfnis für Batterien bei der damals noch unentwickelten Elektrotechnik nicht vorlag.

Der grösste Fehler in den von Bréguet gefertigten Elementen bestand darin, dass die auf so umständlichem Wege erzeugten Schichten auf den Oberflächen der Bleibleche sich von diesen lösten, sobald der Ueberzug eine gewisse Dicke ($^1/_3$ bis $^1/_2$ mm) erreicht hatte. In dem Moment, zu dem der Accumulator seine beste Leistungsfähigkeit erlangt hatte, begann schon der Verfall. (Ueber eine eingehende Untersuchung eines Bréguet-Accumulators siehe Schoop, „Sekundär-Elemente" I, S. 134, Knapp, Halle 1895.) Die abfallenden Teile der Schichten blieben auf den horizontal laufenden Gummistreifen liegen und bildeten Brücken zwischen den beiden Elektroden, welche die Selbstentladung des Apparates herbeiführten. Die Stromverteilung auf den beiden Elektroden war ungleichmässig, derart, dass die obere Hälfte des Accumulators bei der Ladung und Entladung mehr herangezogen wurde, als die untere Hälfte. Die verdünnte Schwefelsäure entmischte sich beim Gebrauche des Accumulators, so dass in der Nähe des Bodens die Säure konzentrierter wurde, als an der Oberfläche. Durch die dadurch entstandene Konzentrationskette trat eine Zerstörung der Superoxydplatte ein. Die wagrechte Anordnung der die Elektroden voneinander isolierenden Teile, sowie die Verwendung glatter Bleibleche ist auch allgemein verlassen worden.

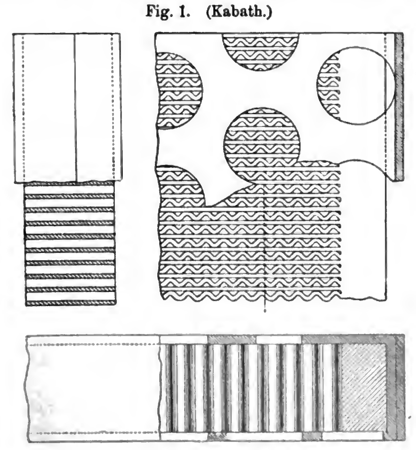
In dem nach Kabath benannten Accumulator ist bereits die Oberfläche der Elektroden in kleinere Abschnitte aufgelöst. Fig. 1 gibt die mechanische Anordnung der Platte wieder. Die vertikal laufenden, abwechselnd geraden und gewellten Bleiblechstreifen sind

Digitized by Google

½ mm dick und 12 mm breit. Am oberen und am unteren Ende sind die Streifen an eine gemeinsame Bleileiste angelötet. Die so erhaltene Platte wird von einer Hülle von perforiertem Hartgummi umgeben. Kabath benützte auch perforiertes Bleiblech, was aber weniger vorteilhaft erscheint. Durch die zwischengelegten gewellten Streifen soll dem Elektrolyten ein möglichst leichter Zutritt zu den Streifen ermöglicht werden.

Die Platten wurden, in der jetzt allgemein üblichen Weise, vertikal in den Behälter (z. B. ein Glasgefäss) gestellt, mit angemessenem Ab-

Fig. 1. (Kabath.)



⅔ nat. Grösse.

stand voneinander, und die ungeraden einerseits, die geraden anderseits an je eine gemeinschaftliche Leitung angeschlossen. Die Kapazitätsgebung (Formation) erfolgte nach Plantés Vorschrift.

Diese Elektrode darf als ein erheblicher Fortschritt gegenüber derjenigen von Planté angesehen werden, indem nicht nur die wirksamen Schichten besser auf den schmalen Streifen haften, sondern auch beim Abfallen derselben nicht leicht Kurzschluss des Elementes eintreten kann. Auch der Zutritt der Säure kann hier besser erfolgen und die Stromverteilung über die Platten ist mindestens so gut, wie bei den meisten, noch heute im Handel befindlichen Systemen. Die

Digitized by Google

allerdings sehr geringe Stärke der Lamellen von nur 1/2 mm, die zur Erzielung einer möglichst hohen Kapazität gewählt worden ist, konnte der Haltbarkeit, besonders der Superoxydelektrode, nicht förderlich sein. Es ist ferner anzunehmen, dass, da die gewellten Streifen erheblich länger als die geraden sind, die ungleichmässige Ausdehnung der Streifen während des Gebrauchs von Nachteil sein konnte. Wenn, trotz der sorgfältigen Konstruktion, dieses System, ohne eine grosse Verbreitung gewonnen zu haben, wieder verlassen worden ist, dürfte der Grund hierzu wohl auf äussere, ungünstige Umstände zurückzuführen sein.

Da die Kapazität solcher, wie überhaupt aller hier behandelten, elektrochemisch formierten Elektroden hauptsächlich von der Dicke der wirksamen Schicht auf den Elektroden abhängig ist und die Dauerhaftigkeit der Superoxydplatten in umgekehrtem Verhältnis zur Dicke der Superoxydschichte zu stehen scheint, hat es wenig Interesse, näher auf die Kapazitäten jedes einzelnen Systems einzugehen.

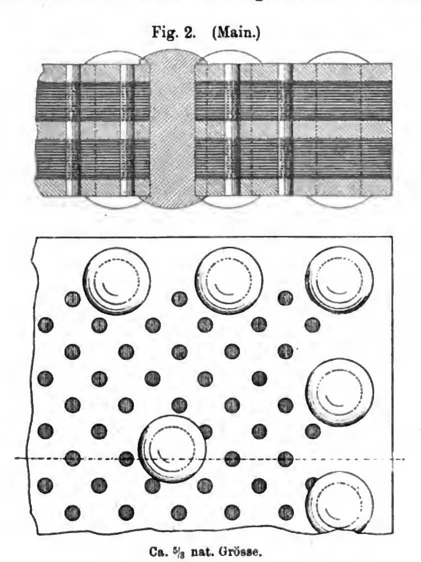
Dem Muster Kabaths sind verschiedene andere, ebenfalls wieder verlassene Systeme nachgebildet worden, z. B. die Accumulatoren von Benardos, Reynier, Dujardin. Letzterer wird von „The D. P. Battery Company, Ltd." (66 Victoria Street, London S. W.) hergestellt. Nach der Preisliste dieser Firma entfallen auf das Kilogramm Gesamtgewicht des Elementes (inclusive der Säure) bei kleineren Grössen 2 1/2 und bei grösseren Typen bis 3 2/3 Ampèrestunden Kapazität. „Die Platten werden vermittelst eines besonderen elektrolytischen Prozesses, welcher das wirksame Material aus dem Plattenkörper selbst bildet, erhalten" — mehr verrät die Preisliste und auch die Firma selbst nicht. Ein englisches Patent von P. Dujardin hat die Benützung ammoniakalischer Lösungen von Essigsäure oder deren Salze, ein anderes Patent diejenige eines Gemisches von verdünnter Schwefelsäure und Natronsalpeter zum Gegenstand. Weder nach der einen, noch der anderen Patentbeschreibung ist es möglich, taugliche Produkte zu erhalten.

Auf originelle Art hat Main die Superoxydelektrode seines Accumulators ausgebildet. In Fig. 2 ist eine Skizze davon gegeben. Um bei geringem Gewicht eine grosse Oberfläche zu erzielen, sind hier dünne Bleifolien von nicht mehr als 1/5 mm Stärke aufeinander gelegt; die beiden Endblätter werden durch 2 mm starkes Bleiblech gebildet. Auch in der Mitte der Elektrode ist ein stärkeres Bleiblech eingeschoben, um den Zutritt des Stromes in das Innere der Platte zu erleichtern. Die stanniolartigen Bleiblätter werden zuerst mit

Digitized by Google

Graphit eingerieben, dann mit einem Anstrich von „Whiting“ oder Zinkweiss versehen und erst nach dem Trocknen des Anstrichs aufeinander gelegt. Bei der nachfolgenden „Formation“ wird das Zinkweiss wieder aufgelöst und dadurch der wünschenswerte Raum für die Säure frei gelassen. Das so bereitete Paket wird nun unter einer Stanze auf einen Druck mit 49 grösseren Löchern, welche zur Aufnahme der Bleinieten dienen, und möglichst vielen kleineren, etwa

Fig. 2. (Main.)



Ca. 5/8 nat. Grösse.

2 mm weiten Löchern versehen. Die letzteren haben den Zweck, den Zutritt der Säure in das Innere der Platte zu befördern. Nachdem die grösseren Perforationen mit je einer Bleiniete ausgefüllt worden sind, wird das Stück abermals unter einer Presse einem starken Druck ausgesetzt und dadurch die Vernietung bewerkstelligt. Es erübrigt nur noch das Anlöten des Stromzuführungslappens, um die Platte fertig zur „Formation“ zu stellen. Diese geschieht insofern nach Planté, indem als Elektrolyt nur verdünnte Schwefelsäure benützt wird; doch soll der Graphitüberzug auf dem Bleistanniol eine

Digitized by Google

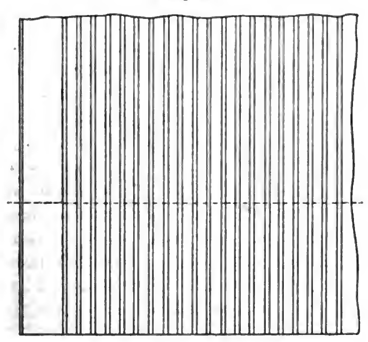
besonders rasche Umwandlung desselben in Superoxyd ermöglichen. (Vielleicht würde die Leistungsfähigkeit dieser Konstruktion noch erhöht werden können, wenn die Bleinieten wenigstens mit der einen Aussenplatte vereinigt würden, sei es durch Verlötung oder billiger dadurch, dass diese Seite samt den senkrecht darauf stehenden Stiften gegossen würde.) Als Gegenelektrode benützt Main mit Zink überzogene Cadmiumbleche, welche vor dem Gebrauch amalgamiert werden. Der Elektrolyt besteht aus verdünnter Schwefelsäure mit einem Zusatz von Zinksulfat und etwas Quecksilbersulfat. Bei der Ladung schlägt sich Zink an den zum besseren Anhaften des Zinküberzuges siebartig durchlöcherten Kathodenblechen nieder im Verein mit Quecksilber. Das erhaltene Zinkamalgam wird durch den Elektrolyten nicht nennenswert zersetzt, sondern löst sich erst bei der Entladung des Accumulators wieder auf. Pro Kilogramm Gesamtgewicht des Accumulators werden 20 Wattstunden Kapazität, pro Kilogramm Plattengewicht 32 Wattstunden Kapazität angegeben, wobei die Klemmenspannung des Elementes von anfänglich 2,45 Volts auf 2,00 Volts sinkt bei einer Entladestromstärke von 0,6 Ampère pro Kilogramm Gesamtgewicht. Ein Nachteil des Main-Accumulators scheint in der Unsicherheit, mit welcher das Zinkamalgam auf den Kathodenblechen in der richtigen, cohärenten Beschaffenheit erzeugt wird, zu liegen.

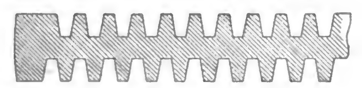
Von grosser praktischer Bedeutung ist die von den Gebrüdern Tudor (in Rosport, Belgien) vor 10 Jahren zur allgemeinen Kenntnis gebrachte Platte geworden. Die von der „Electrochemical-Storage-Battery-Co.“ (30 Broad Street, New York) verfertigte Platte kommt der ursprünglichen Tudor-Platte ziemlich nahe und ist in Fig. 3 aufgeführt. Die Platte, ebenfalls durch Giessen erhalten, ist anf beiden Seiten mit parallel laufenden, etwa 1½ mm breiten und 2½ mm tiefen Furchen versehen. Bei der alten Tudor-Platte war der massive Bleikern nicht nur 2½ mm wie hier, sondern 5 mm dick. Die Furchen wurden mit Bleioxydpaste ausgefüllt und darauf die Platte in verdünnter Schwefelsäure als Anode der Einwirkung des elektrischen Stromes so lange ausgesetzt, bis alles Bleioxyd in Superoxyd übergeführt war. In diesem Zustand konnte allerdings die Tudor-Platte keinen Anspruch auf die Bezeichnung „Planté-Platte“ machen, indem die Kapazität lediglich durch die mechanisch angebrachten Bleioxyde bedingt wurde. Anders verhält es sich aber, wenn die Platte schon ein Jahr in Gebrauch gestanden hat. Die in den Furchen hängende Superoxydmasse fällt, oft schon nach einigen Monaten des Betriebes, heraus und auf den Boden des

Digitized by Google

Behälters. Trotzdem ist aber die Kapazität des Accumulators nicht wesentlich vermindert und es zeigt sich, dass nun eine aus der Bleiseele selbst herausgebildete dünne, aber gut anhaftende Superoxydschichte die Aufspeicherung des Stromes übernimmt. Das auf der frischen Elektrode angebrachte Füllmaterial diente lediglich dem Zweck, derselben so lange eine praktisch annehmbare Kapazität zu verleihen, bis sich im Verlauf der während des Gebrauchs statt-

Fig. 3.





5/3 nat. Grösse.

findenden Ladungen und Entladungen eine genügende „Planté-Schichte" auf den Superoxydplatten gebildet haben würde. Nun ist hervorzuheben, dass unter einer Schichte von Füllmasse das Blei sich erheblich rascher zu oxydieren scheint, als ohne Gegenwart derselben. Ob dabei gleichzeitig ein etwa vorhandener Chlorgehalt der verwendeten Bleioxyde mitgewirkt haben mochte, erscheint ebenfalls möglich.

Eine im Jahre 1888 im Staatslaboratorium Hamburg untersuchte Tudor-Zelle zeigte folgende Verhältnisse: Die positiven und negativen Platten waren genau gleich konstruiert; jede war 10 mm dick und hatte 4 qdcm Oberfläche. Der Abstand der Platten voneinander betrug 10 mm, das Gewicht einer Platte 2 kg. Das Gesamtgewicht der

Tudor-Zelle (in Glasgefäss) und mit der Schwefelsäure belief sich auf 20,0 kg, wobei das Element drei positive und vier negative Platten enthielt. Die Kapazität war 42 Ampèrestunden bei 6,5 Ampère Entladungsstromstärke; die Ladungsstromstärke durfte 5 Ampère nicht übersteigen. (Aus „Gutachten des Herrn Direktor Dr. A. Voller in Hamburg".) Somit entfielen gerade 2 Ampèrestunden Kapazität auf das Kilogramm Gesamtgewicht oder 3 Ampèrestunden per Kilogramm Plattengewicht.

Eine im Jahre 1888 ebenfalls von Voller geprüfte Tudor-Zelle „neuerer Konstruktion" hatte drei positive und vier negative Platten von je 6 qdcm Oberfläche; die positiven Platten waren 9 mm, die negativen nur mehr 6 mm dick; der Abstand der Platten betrug 8 mm. Das Gesamtgewicht der Platten war 13,3 kg; dasjenige des kompletten Accumulators (mit Säure von 1,15 spez. Gew. gefüllt) 19,4 kg. Kapazität 50 Ampèrestunden bei 10 % Spannungsabfall und 8¼ Ampère Entladung und einem Ladestrom von 7,5 Ampère.

Bei dem alten „Tudor-Accumulator" war die Bleischwammplatte gerade so konstruiert, wie die Superoxydplatte; der Bleischwamm aber blieb dauernd in den Furchen, so dass mit Bezug auf den Bleischwamm nicht von „Planté-Formation" gesprochen werden konnte. Wie bei dem früher besprochenen Fabrikat Bréguet ist auch hier die Kapazität der Superoxydelektrode grösser als diejenige der Gegenelektrode. Wurde der Accumulator entladen, so erschöpften sich die Bleischwammplatten zuerst und bewirkten den rapiden Abfall der Spannung und damit die Beendigung der Entladung, und zwar zu einem Zeitpunkt, bei dem die Superoxydplatten kaum mehr als zur Hälfte entladen waren. Nun ist dieser Umstand (der wohl erst nachträglich zur Erkenntnis gelangt ist) von sehr wohlthätigem Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der Superoxydplatten gewesen, denn nichts vertragen diese schlechter, als vollständige Erschöpfung. — Nachdem die anderen, zur gleichen Zeitperiode bekannten Accumulatoren gerade an dem zu raschen Zerfall der Superoxydplatten litten, musste das Verhalten der Tudor-Platten Aufsehen erregen. Die massive Bauart der Elemente, welche allerdings nur die Verwendung derselben für stationäre Batterien zuliess, mochte ebenfalls zur höheren Haltbarkeit des Systems beitragen. Zu diesen technischen Umständen gesellte sich aber noch ein eminent glücklicher Zufall, der darin bestand, dass die rührigen und gewandten Inhaber der einstigen Firma „Einbeck und Müller in Hagen" (Westfalen) sich für das Fabrikat der Gebrüder Tudor interessierten und in kurzer Zeit mit einem aussergewöhnlichen Auf-

Digitized by Google

wand von kaufmännischem Geschick die zwei grössten Elektrizitätsgesellschaften in Deutschland (Siemens & Halske und die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft) für den Gegenstand einnahmen. Es ist das Verdienst der schon im Jahre 1891 errichteten Accumulatorenfabrik-Aktiengesellschaft Berlin, in Deutschland die erfolgreiche Einführung der Accumulatoren in elektrischen Lichtzentralen durchgeführt zu haben, denn vorher waren nur in England (speziell London) einige bedeutendere Accumulatorenanlagen vorhanden, während die bis dahin in Deutschland eingeführten englischen Accumulatoren geteiltes Lob ernteten. Aber auch die kommerzielle Routine der erwähnten Gesellschaft vermochte sich nicht über die Mängel des Tudor-Accumulators auf die Dauer hinwegzusetzen, wie sich an den seither geänderten Konstruktionen derselben ersehen lässt. Unerwarteterweise stellte sich bei den Batterieen nach ein- bis zweijährigem Gebrauch ein Rückgang der Kapazität ein, der auf die Bleischwammplatten zurückzuführen war. Die verhältnismässig geringe Menge von Bleischwamm, welche in den Furchen Platz fand, vermochte die Beanspruchung auf die Dauer nicht ohne Schaden zu ertragen. Es zeigte sich, dass die Füllmasse zusammenschrumpfte und dabei zugleich den Kontakt mit der massiven Bleiunterlage teilweise verlor. Die Aufnahmefähigkeit des Schwamms für Elektrizität ging dabei auf die Hälfte bis ein Drittel der ursprünglichen hinunter, zum Teil infolge des verringerten Kontaktes mit dem Träger, zum Teil aus verminderter Porosität des Bleischwamms oder überhaupt der veränderten physikalischen Struktur desselben. Diese, in sehr grossem Massstab gemachte Erfahrung führte dazu, die Tudor-Platte, weil ungeeignet als Bleischwammelektrode, zu verlassen und an Stelle derselben Gitterplatten (nach dem Vorgang der Electrical-Power-Storage-Co. in London) zu verwenden. —

Hier sollen nur die Veränderungen, welche die Superoxydplatten der A.-F.-A.-G. Berlin seither erfahren haben, kurz vorgeführt werden. — Die Form der ursprünglichen Tudor-Platte bildete ein Rechteck von wenig mehr als 2 qdcm Inhalt, wobei die Dicke der Platte 10 mm betrug. Es ist daher wohl glaubwürdig, dass diese Platten sich im Gebrauch nicht verkrümmten. Anders verhielten sich aber die von der A.-F.-A.-G. hergestellten Elektroden grösseren Formates von 300 mm Höhe und 280 mm Breite bei nur 8 mm Dicke, also mehr als vierfacher Grösse gegenüber den alten Tudor-Platten. Hier stellte sich der Uebelstand des „Werfens“ ein, besonders dann, wenn ein durch abgefallene und zwischen den Platten festsitzende Masse

Digitized by Google

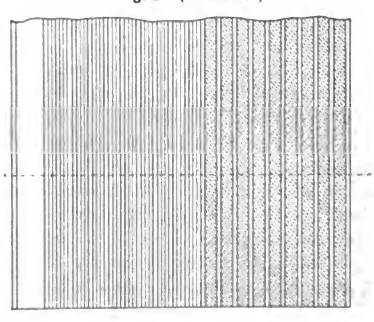
entstandener „Kurzschluss" längere Zeit unbeachtet blieb und dadurch das Element sehr tief entladen wurde.

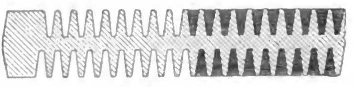
In Fig. 4 ist die Zeichnung einer aus dem Jahre 1891 stammenden Superoxydplatte der A.-F.-A.-G. Berlin gegeben. Eine Platte der eben angeführten Dimensionen wog 5,70 kg und enthielt 1,86 kg Füllmasse (trocken). Die Kapazität der Platte war bei der Entladung

in	3⅓	4	5	6	7	8	Stunden
	48	52	55	60	64	68	Ampèrestunden,

wobei, wie schon bemerkt, diese Zahlen richtiger auf die Bleischwamm-

Fig. 4. (A.-F.-A.-G.)





⅗ nat. Grösse.

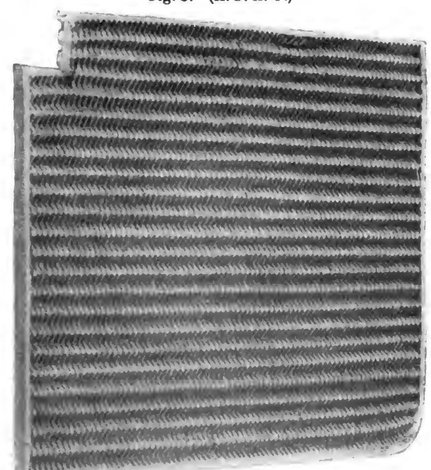
elektrode passen, da die Kapazität der Superoxydelektrode, nachdem einmal die Füllmasse herausgefallen ist, lediglich von der Beschaffenheit und Dicke der Planté-Schicht abhängt. —

Von den zahlreichen Variationen, in welchen diese Platten zu fertigen Elementen zusammengestellt worden sind, hat sich als eine der besten der Aufbau in Glasgefässen bewährt, wobei die Platten mittels an der oberen Kante seitlich angebrachter Nasen auf den Gefässrand gehängt werden. Dabei ist die Höhe des Gefässes derart bemessen, dass zwischen der unteren Plattenkante und dem Gefässboden ein Abstand von ca. 100 mm gewahrt bleibt.

Digitized by Google

Durch zwischengesteckte Glasrohre von 12 mm Durchmesser wird für den gleichmässigen Abstand der Platten voneinander gesorgt. (Eine genauere Skizze eines solchen Elements ist auf S. 200 „Sekundär-Elemente“ I, Knapp, Halle, zu finden.) Für gewisse Zwecke, wie z. B. bei der Batterie der Tramzentrale in Hirslanden-Zürich, hat sich die in Fig. 4 gegebene Konstruktion der Superoxydplatte sehr gut bewährt. In diesem Fall ist nämlich die Bean-

Fig. 5. (A.-F.-A.-G.)



Ca. 1/2 nat. Grösse.

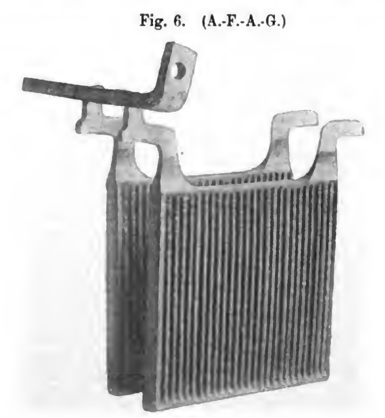
spruchung des Sammlers eine besonders günstige, indem lang andauernde Entladungen nur ausnahmsweise stattfinden, im Gegenteil die Hauptfunktion der Batterie darin besteht, die Spannungsschwankungen im Leitungsnetz auszugleichen. Bei der rasch und plötzlich wechselnden Belastung desselben erhält die Batterie abwechselnd Ladestrom und gibt Entladestrom ab und zwar gewöhnlich mehrere Male im Zeitraum einer Minute. Erwähnte Batterie ist schon fünf Jahre in unausgesetztem Gebrauch mit noch immer den ursprünglichen Superoxydplatten.

Bei Batterieen für Beleuchtung dagegen wird die Kapazität der

Digitized by Google

Platten möglichst ausgenützt und die S. 157 besprochene Erscheinung trat, trotz der aufs Aeusserste getriebenen Ueberwachung der Batterieen doch sehr störend auf. Daher wurde zu der in Fig. 5 dargestellten Plattenform übergegangen, wobei nicht nur das Format der Superoxydplatten auf die Hälfte der früheren Breite reduziert, sondern gleichzeitig die Dicke auf das Anderthalbfache erhöht wurde. Die in der Figur dargestellte Platte ist ca. 14 cm breit und ungefähr ebenso hoch. Diese Platte, ebenfalls durch Giessen in Metallformen erhalten, zeigt eine wellenförmig gestaltete Oberfläche, wobei

Fig. 6. (A.-F.-A.-G.)



Ca. 1/4 nat. Grösse.

die Seele oder der massive innere Kern der Platte ca. 3 mm stark ist, und die Wellenberge (Erhöhungen) ca. 4 1/2 mm über die Seele herausragen. Die gerippten, älteren Platten hatten nämlich noch den Uebelstand gezeigt (der auch bei der später zu erwähnenden Pollak-Platte vorhanden ist), dass, nachdem bei längerem Gebrauch die feinen Bleirippen „durchformiert“, d. h. in Bleisuperoxyd verwandelt waren, sich die aktive Schicht in grossen Blättern von der metallischen Unterlage ablöste. Die tiefgehenden zickzackförmigen Wellen der neuen Platte sollten offenbar diesen Uebelstand beseitigen.

Die Behandlung der „Wellenplatte“ war im übrigen gleich wie früher; die Bleiplatten wurden zuerst einer Art elektrolytischer

Digitized by Google

Reinigung unterzogen, indem dieselben kurze Zeit als Anoden in verdünnter Schwefelsäure mit schwachem Strom geladen wurden. Der dadurch erzeugte dünne Hauch von Superoxyd mochte ein sicheres Anhaften der nun einzustreichenden Bleioxyd- oder Mennigepaste gewähren. Nach der Erhärtung der Füllmasse konnte diese in Superoxyd übergeführt werden und das Füllmaterial sollte ebenfalls so lange aushalten, bis sich eine genügende Planté-Schichte auf der Blei-

Fig. 7. (A.-F.-A.-G.)



Ca. 1/4 nat. Grösse.

unterlage gebildet haben würde. Indessen haftete das Füllmaterial nicht so gut an dieser Oberfläche, wie früher, was auch ohne weiteres aus der Konstruktion derselben hervorgeht. Einen weiteren Uebelstand bildete die Vereinigung der kleineren Platten zu Elektroden grösseren Formats nach einem von Kerkhove patentierten Gedanken, wonach zwei oder vier der Plättchen in einen Tragrahmen aus Hartblei eingesetzt und mit diesem an gewissen Stellen verlötet wurden.

Fig. 6 zeigt die photographische Ansicht einer Elektrode, aus zwei Wellenplatten bestehend, und Fig. 7 die Ansicht eines kompletten

Digitized by Google

Elementes (in Glasgefäss) mit Wellenplatten. Der Aufbau ist derselbe wie gelegentlich der in Fig. 4 skizzierten Rippenplatte geschildert worden ist.

Hier ist nun von der A.-F.-A.-G. Berlin zum ersten Male der Gitterträger für die negativen Platten eingeführt worden, wobei zugleich die mit Bleischwamm gefüllten Gitter äusserlich den „Wellenplatten“ recht ähnlich gemacht wurden, so dass der Laie einen Unterschied der Konstruktion kaum herausfinden mochte.

Es ist schon weiter oben von dem ungünstigen Einfluss weitgehender Entladung auf das Verhalten der Superoxydschichte hingewiesen worden. Durch Anwendung von Bleischwammplatten, welche nun ein Mehrfaches der früheren Platten an Schwamm enthielten, konnte allerdings die Kapazität der „Wellenplatte“ voll ausgenützt werden, leider auf Kosten der Haltbarkeit. — Das in Fig. 7 abgebildete Element hat eine Kapazität von

	36	40	44	48	Ampèrestunden
bei	12	8	6,3	4,8	Ampère Entladestrom.

Nachdem jetzt die Kapazität der Bleischwammplatten bedeutend höher ist als diejenige der Superoxydplatten, stellen diese Werte annähernd die Kapazität der Superoxydelektrode vor. Da diese aus zwei der in Fig. 4 dargestellten Platten besteht, entfällt somit gerade die Hälfte obiger Werte auf jene Platte, deren Gewicht 2,2 kg beträgt. Die ganze Elektrode, aus zwei Platten samt Verbindungsstreifen, wiegt ca. 5 kg.

Die Dimensionen des Elements folgen nachstehend: Die Bleischwammplatten (zwei Endplatten und eine Vollplatte) sind 165 mm breit und 160 mm hoch; die Mittelplatte (Vollplatte) ist 8 mm dick, während die Endplatten, welche nur auf der inneren, der Superoxydelektrode zugekehrten Seite mit Bleischwamm versehen sind, 5 mm Dicke zeigen. Die beiden Superoxydplatten sind je 12 mm dick und ebenfalls 165 × 160 mm.

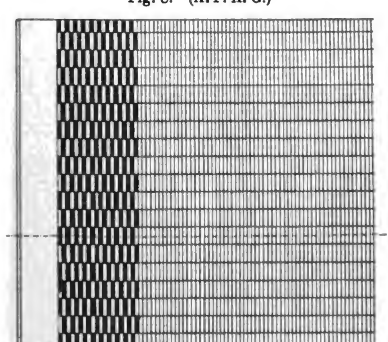
Der Abstand der Platten voneinander ist durch 4 × 2 Glasrohre von 11 mm Durchmesser gehalten. Der seitliche Abstand der Glasrohre voneinander ist 160 mm, der Plattenabstand vom Boden 50 mm. Die Platten sitzen vermittelst der von der oberen Kante ausgehenden Nasen, von denen die eine sich zugleich zur Stromzuführung verlängert, direkt auf dem Gefässrand. Auf der einen Breitseite des Gefässes ist die Berührung der Endplatte mit der Gefässwand durch zwei Glasrohre verhindert. An der anderen Endplatte liegen ebenfalls zwei Glasrohre auf der äusseren Seite an, welche

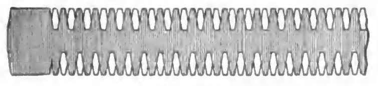
Digitized by Google

als Führung für zwei Hartbleifedern dienen, so dass ein elastischer Druck zwischen der Gefässwand und den Platten stattfindet, wodurch die senkrechte Lage der Platten gesichert wird. Dieses Element entspricht der unter Nr. 102 in der Preisliste von 1893/94 angeführten Grösse. Das Glasgefäss ist 125 mm breit, 190 mm lang und 250 mm hoch (Innen gemessen); die Aussenmasse sind 135 × 200 × 260 mm.

In der Preisliste sind die Masse mit 130 mm Länge, 190 mm

Fig. 8. (A.-F.-A.-G.)





5/8 nat. Grösse.

Breite und 265 mm Höhe, das Gewicht des Elements (unverpackt) zu 13 kg, die Säuremenge (von 1,15 spez. Gew.) zu 5 l angegeben. Das Gesamtgewicht beträgt somit 18,75 kg, wenn unter der Angabe „Element unverpackt" auch das Gewicht des Glasgefässes inbegriffen ist.

Das Element in Fig. 6 zeigte, mit Säure gefüllt, thatsächlich das Gewicht von 18,8 kg.

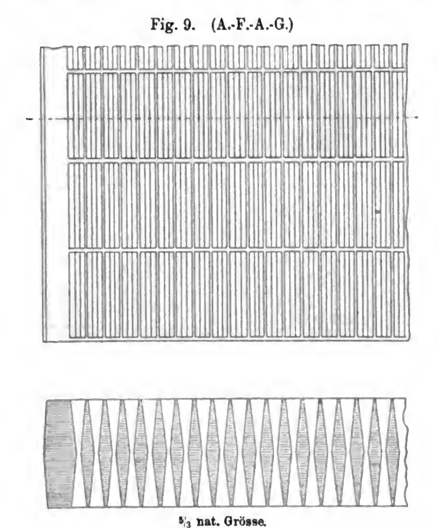
Es mag hier kurz erwähnt werden, dass bei den Elementen mit grösserer Plattenzahl an Stelle der Aufhängung der Platten auf dem

Digitized by Google

Gefässrand eine ähnliche Aufstellung auf Glasstützscheiben stattfindet, wie bei dem Element von Gelnhausen, jedoch mit dem Unterschied, dass die Stützscheiben über das Niveau des Elektrolyten hinausragen. —

Nachdem immer mehr das Bedürfnis nach einem Accumulator hervortrat, der möglichst starke Ströme (bei sonst mässiger Grösse und Preislage) liefern musste und die Erfahrung gezeigt hatte, dass die Platten um so eher eine grosse Stromdichte der Ladung oder Ent-

Fig. 9. (A.-F.-A.-G.)



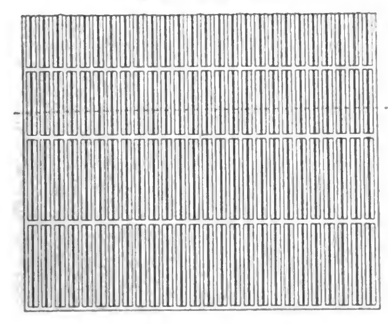
5/3 nat. Grösse.

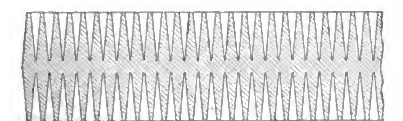
ladung vertragen, je grösser die Oberfläche derselben ist, wurde dadurch eine Modifikation der Tudor-Platte geschaffen, dass die Rippen in kurze Stücke abgebrochen und gegeneinander versetzt angeordnet wurden, wie Fig. 8 zeigt. Dadurch wird, bei sonst gleichem Gewicht der Platte, ein Gewinn an Oberfläche erzielt. Wohl infolge der schwierigen Herstellung (durch Giessen oder Pressen), und weil hier noch rascher als bei der alten Tudor-Platte, das Abblättern der Superoxydschichte zu befürchten war, ist auch diese Konstruktion nicht lange aufrecht erhalten worden.

Digitized by Google

Eine entschiedene Abweichung von den bisher behandelten Platten zeigt die „Schnelladeplatte“, welche die Accumulatorenfabrik-Aktiengesellschaft vor 2 Jahren eingeführt hat. Diese bildet, wie Fig. 9 zeigt, im Gegensatz zu allen früheren „Tudor“-Platten ein Gitter, eine durchbrochene Platte und wird auch nicht mehr mit Bleioxyden (Paste) beschickt, sondern nach einem abgekürzten elektrochemischen Formierverfahren mit einer Superoxydschichte versehen.

Fig. 10. (A.-F.-A.-G.)





5/3 nat. Grösse.

In der That bietet diese Elektrode, welche ziemlich genau einem vom Verfasser ausgebildeten Gitter entspricht (vergl. „Sekundärelemente“, Knapp, Halle, II, S. 10 und 11, wo die Gussform, und S. 31, wo die Platte abgebildet ist), die dreifache Oberfläche einer massiven Bleiplatte von sonst gleichen Dimensionen dar. Bei der heutigen Entwickelung der Giessereitechnik bereitet das Giessen solcher Gitter keine besonderen Schwierigkeiten.

Der Nachteil aller Gitter, wenn als leitende Unterlage für die Superoxydelektrode verwendet, besteht darin, dass bei der Volum-

Digitized by Google

vermehrung, die mit der Oxydation des Bleies verbunden ist, ein Treiben oder Wachsen des Gitters stattfindet. Diese wenig wünschenswerte Eigenschaft zeigen die Platten mit undurchbrochenem Kern (Seele) nur in verhältnismässig geringem Grad. Vielleicht ist es diese Erfahrung, welche die Accumulatorenfabrik-Aktiengesellschaft dazu geführt hat, in den neuesten Musterplättchen das Gitter wieder zu verlassen und die sonst gleich dimensionierte Platte mit einer allerdings dünnen, nur 1 mm dicken Seele zu versehen, wie in Fig. 10 dargestellt ist.

Das aus dem Sommer 1897 stammende Musterplättchen enthält offenbar kein mechanisch angebrachtes Superoxyd. Aus der beigelegten „Beschreibung der Plattenmuster“, welche im wesentlichen eine kaufmännische Anpreisung des Fabrikats bildet, möge eine Stelle hier Platz finden. „Während daher bei allen positiven Elektroden, in welchen das aktive Material die Hohlräume des Trägers ausfüllt, eine gelegentliche Sulfation eine Deformation der Platten zur unbedingten Folge hat, — tritt bei der neuen Platte ein Sichkrümmen oder Sichverziehen derselben im Betrieb überhaupt nicht mehr ein.“ Es wird ferner darauf hingewiesen, dass die Bleischwammbildung, welche in weitem Umfange zur Bildung von Kurzschlüssen in den Elementen führte, nunmehr „auf ein Minimum reduziert“ würde, indem diese störende Erscheinung besonders durch das von den Superoxydplatten abfallende und in der Flüssigkeit einige Zeit suspendiert bleibende Füllmaterial hervorgerufen worden sei. — Von Wichtigkeit für die mit Planté-Schicht versehenen Platten ist, dass die verdünnte Schwefelsäure, womit der Accumulator angefüllt wird, nun erheblich konzentrierter gewählt worden ist. Während das spezifische Gewicht der Schwefelsäure früher nach vollendeter Ladung des Accumulators zwischen 18 und 19° Bé. (entsprechend 1,147 spez. Gew.) und nach der Entladung ca. 15° Bé. (1,115 spez. Gew.) betragen musste (Gutachten des Professors Dr. W. Kohlrausch, Hannover, vom 29. April 1888), wird jetzt eine Schwefelsäure von ca. 26° Bé. oder 1,21 spez. Gew. zur Füllung der Elemente verwendet. Die Superoxydschichte wird in dieser stärkeren Säure weniger leicht spröde oder zum Abspringen geneigt. Dafür ist der Einfluss des konzentrierteren Elektrolyts auf die Bleischwammplatten wenig günstig, da die „Sulfation“ des Bleischwamms um so mehr befördert wird, je stärker die angewandte Schwefelsäure ist.

Die Preisliste der A.-F.-A.-G. Berlin 1897 enthält in Form eines eleganten Taschenbuches alle Angaben über diese Accumulatoren,

Digitized by Google

mit Ausnahme der Gewichte und der Konstruktion derselben. Es ist daher unmöglich, zu ersehen, welche Art von Platten für eine bestimmt bezeichnete Nummer der in den Listen aufgeführten Grössen verwendet wird. Die Weglassung der Gewichtsangaben, sowie der näheren Charakterisierung der Elektroden bietet allerdings den Vorteil, jederzeit irgend eine bestellte Akkumulatorenbatterie liefern zu können, ohne an ein bestimmtes Plattensystem gebunden zu sein. Dies ist um so leichter, als auch keine Angaben über die Zahl der in den Elementen vorhandenen Platten gemacht sind. (Die unbedeutenden Ausnahmen, welche das Messelement, Telegraphenelement und Mikrophonelement machen, ändern an Gesagtem nichts.) Eine direkte Anfrage des Verfassers um Auskunft wurde von der Direktion der A.-F.-A.-G. Berlin abschlägig beschieden.

Der zweiten Auflage des vorzüglichen Werckchens von F. Grünwald „Herstellung und Verwendung der Accumulatoren" (Knapp, Halle 1897) sind nachstehende Angaben über die neuesten Accumulatoren der A.-F.-A.-G. Berlin entnommen: „Die Platten sind 15 cm × 16,5 cm im Geviert und die Anode 13 mm, die Kathode (Bleischwammplatten) 7 mm dick. Das Gewicht einer Anodenplatte ist 2,5 kg, dasjenige einer Kathodenplatte 2,1 kg. Ein Element mit 2 positiven und 3 negativen Platten zeigte folgende Kapazitäten:

Bei	16	9,5	7,6	8	5,4	4	3,3	Ampère Entladestromstärke
	16	19	23	24	27	30	33	Ampèrestunden Kapazität.

Der Ladungsstrom ist normal 8 Ampère. Die Säuredichte beträgt bei der geladenen Zelle 24° Bé.; die Ladespannung steigt bis 2,65 Volt. Die Entladespannung darf nur 5% unterhalb der, am Anfang der Entladung gemessenen Spannung sinken.

Die Bleischwammplatten sind mit Füllmasse versehene Gitterplatten. Die Superoxydplatten enthalten kein Füllmaterial, sondern sollen durch Formieren in sehr verdünnter Schwefelsäure nach Planté mit der nötigen Superoxydschichte versehen werden."

Da diese Kapazitätszahlen genau mit den in der Preisliste von 1897 unter Nr. EI und Nr. ESI angeführten Kapazitäten übereinstimmen, mögen die betreffenden Daten der Liste noch hier Platz finden: das Glasgefäss ist 80 mm lang, 215 mm breit und 285 mm hoch (Aussenmasse). Das Gewicht des Elements ohne Säure ist zu 9 kg angegeben; dazu kommen 4 l verdünnte Schwefelsäure von 1,21 spez. Gew., so dass das Gesamtgewicht ca. 14 kg betrüge. Der Preis ist 13 Mark (Verpackung 0,25 Mark).

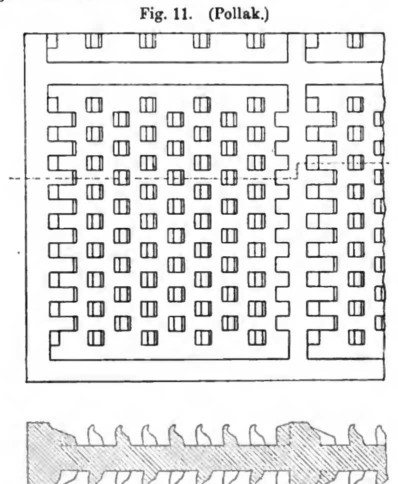
Demnach entfallen pro Kilogramm Gesamtgewicht des Accu-

Digitized by Google

mulators 1 bis 2 Ampèrestunden Kapazität. Bei grösseren Elementen erhöht sich dieses Verhältnis etwas, da die Gewichte des Gefässes, der Säure und der Endplatten sich weniger ungünstig stellen als hier. — Bei einem Accumulator für Eisenbahnwagenbeleuchtung (in ausgebleitem Holzkasten) ist die Kapazität bei 5,1 Ampère Entladestromstärke 77 Ampèrestunden; das Gesamtgewicht desselben ist zu 14 kg angegeben, so dass ca. $5^1/_2$ Ampèrestunden pro Kilogramm entfallen.

Accumulatoren für Tramwagentraktion führt das Taschenbuch merkwürdigerweise nicht.

Fig. 11. (Pollak.)



5/3 nat. Grösse.

Auf originelle Art wird die in Fig. 11 reproduzierte Platte von Ch. Pollak (zuerst von J. Rousseau & Co., Boulevard Sebastopol 113, Paris, fabriziert) erhalten, nämlich dadurch, dass ein dickes Bleiblech zwischen einem mit entsprechenden Vertiefungen versehenen Walzenpaar hindurchgelassen wird. Durch den hiebei ausgeübten bedeutenden Druck legt sich das Blei in die Vertiefungen der Walzen und füllt diese zum Teil aus. Die Oberfläche des Bleiblechs erscheint hernach mit Dornen übersäet, deren Form und Verteilung aus der Figur hervorgeht. Wie bei der ursprünglichen Tudor-Platte wird der zwischen

Digitized by Google

den Dornen verbleibende Raum mit Bleiverbindungen ausgefüllt, welche nach entsprechender elektrolytischer Behandlung der Platte dieser die Kapazität verleihen müssen. Die Dornen halten das Füllmaterial fest. Es soll sich gezeigt haben, dass eine einfache, aus Bleioxyd mit Schwefelsäure bereitete Masse während des Gebrauchs der Platten bälder von diesen abfiel als die aus Bleiweiss mit Kalilauge angemachte Pasta, so dass gegenwärtig auf diese etwas umständlichere Füllmasse zurückgegriffen worden sei.

Die Nachteile der Pollak-Platte sind im wesentlichen dieselben wie diejenigen der Tudor-Platte; sobald die Bleidornen auf der Superoxydelektrode durchformiert sind, entfällt der mechanische Halt für die Superoxydschichte und diese löst sich vom Bleikern ab. Trotzdem haben die Pollak-Accumulatoren ziemliche Verbreitung erlangt, was für die Brauchbarkeit derselben für manche Zwecke spricht. — In Fig. 12 ist die nähere Zusammenstellung der Pollak-Platten zu einem Accumulator wiedergegeben. Das Element wiegt komplett 16,5 kg und entspricht der in der Preisliste von 1897 mit SK_1 bezeichneten Nummer.

Das Gewicht des Elements (ohne Säure) ist 11 kg; es fasst 5 l Schwefelsäure (von 1,15 spez. Gew.). Das Glasgefäss, welches innen 105 × 165 × 360 mm (letzteres die Höhe) misst, enthält 2 Positive, 1 Negative und 2 negative Endplatten. Die positiven Platten, sowie die mittlere negative Platte sind stark 6 mm dick; die beiden Endplatten, auf der äusseren Seite glatt und ohne Bleischwamm, sind nur 3 mm dick. Der Plattenabstand vom Boden ist 55 mm; der Abstand der Platten unter sich 11 mm. Der seitliche Abstand der Glasröhren voneinander misst 80 mm.

Wie aus der Figur hervorgeht, hängen die Bleischwammplatten nicht nur auf dem Rand des Glasgefässes auf, sondern es sind überdies noch die Glasröhren zum Tragen dieser Platten herangezogen worden, indem bei jeder vier kleine an der oberen Kante derselben angelötete Bleistreifchen in vier an die betreffende Platte anliegende Glasröhren führen. Auf diese Art werden die Bleischwammplatten, auch ohne auf dem Gefässrand aufzuliegen, getragen. Die doppelte Sicherheit in der Aufhängung der Schwammplatten ist darum angebracht, weil sie neben dem eigenen Gewicht auch noch mit dem der Superoxydplatten belastet sind, welche an dem quer über den Bleischwammplatten liegenden Ebonitstab hängen. Die Kapazität des Elementes ist bei der Entladung mit

12	9	8	7	6	5,5	5	4,5	Ampère
36	38	40	41	42	44	45	46	Ampèrestunden.


Digitized by Google

Fig. 12. (Pollak.)

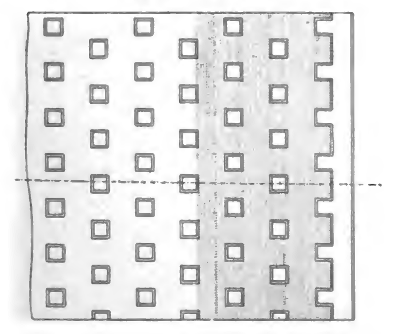
$^{3}/_{10}$ nat. Grösse

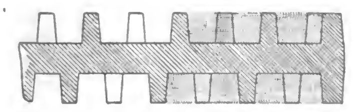
Digitized by Google

Die Kapazität per Kilogramm Gesamtgewicht ist also 2 bis 3 Ampèrestunden. (Accumulatoren für transportable Verwendung, fahrbare Beleuchtungsbatterieen, Tramaccumulatoren etc. führt die Preisliste 1897, wie alle früheren, ebenfalls nicht.) Bei Accumulatoren mit grösseren Platten ist die Aufstellung ähnlich derjenigen von Gelnhausen.

Der Verfasser bittet hier um Entschuldigung, dass immer nur die Nachteile der betreffenden Systeme hervorgehoben werden, indessen besorgen die Fabrikanten die Hervorhebung und Anpreisung der guten Eigenschaften ihrer Fabrikate mehr als zur Genüge. —

Fig. 13. (Oerlikon.)





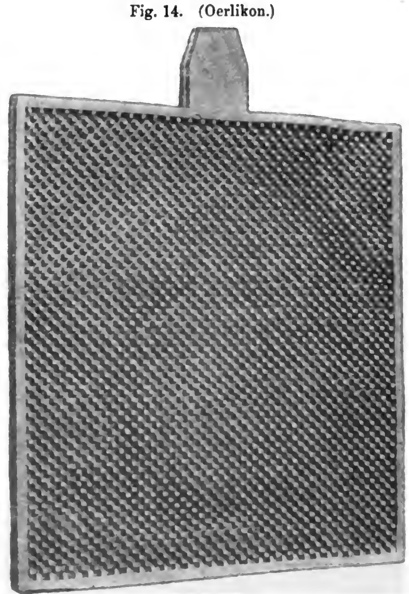
$^{1}/_{2}$ nat. Grösse.

Eine dem Pollak-System ähnliche, aber durch Giessen in Metallformen hergestellte Platte zeigt Fig. 13. In die beiden Gussformhälften werden entsprechende Vertiefungen graviert, welche beim Gussstück negativ, d. h. als Erhöhungen erscheinen. Der zwischen den Zacken verbleibende Raum wird mit Füllmasse ausgestrichen und die Platte in verdünnter Schwefelsäure formiert. Wie ersichtlich, sind die Zacken derart angeordnet, dass sie der vertikal aufliegenden

Digitized by Google

Superoxydschichte möglichst gute Stütze geben. Das Füllmaterial fällt, wenn die Beanspruchung der Platte nur mit geringer Stromstärke erfolgt, nicht leicht vom Bleiträger ab, wohl aber wenn grössere Stromdichten der Ladung oder Entladung zugelassen werden. Auf die Gewichtseinheit bezogen, zeigt vorliegende Plattenform eine durchschnittlich etwa doppelt so grosse Kapazität als die alte Tudor-Platte,

Fig. 14. (Oerlikon.)



Ca. ½ nat. Grösse.

was auf die rationellere Gestaltung der Oberfläche, welche mehr Füllmasse aufnimmt und dem Elektrolyten leichteren Zutritt zu den aktiven Materialschichten gewährt, zurückzuführen ist. Die vom Verfasser im Jahre 1893 in der Accumulatorenfabrik Oerlikon ausgeführte, in Fig. 14 photographisch dargestellte Platte hat 133 mm Breite, 150 mm Höhe und 6¼ mm Dicke.

Ein Element, bestehend aus 7 solcher Superoxydplatten (jede

Digitized by Google

140 mm breit und 160 mm hoch) und 8 negativen Platten desselben Formates, wog samt Glasgefäss . . . . 21 kg
die verdünnte Schwefelsäure von 1,20 spez. Gew. . . . . . 9,5 „

Summa 30,5 kg

und zeigte bei der Entladung mit 16,0 Ampère innerhalb 10% Abfall der Klemmspannung eine Kapazität von 144 Ampèrestunden, also pro Platte rund 20 Ampèrestunden. Auf das Kilogramm Gesamtzellgewicht entfallen ca. 5 Ampèrestunden Kapazität.

In Fig. 15 ist die Ansicht einer noch nicht formierten Platte der „Electrochemical-Storage-Battery-Co." (New-York) und in

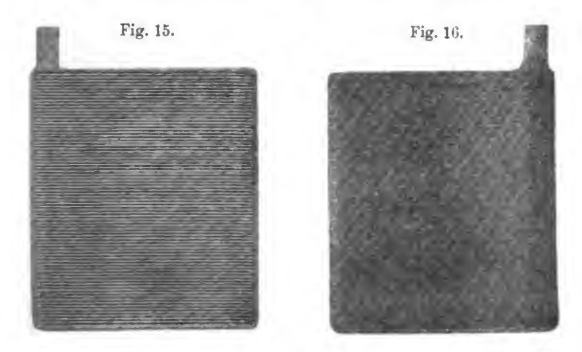


Fig. 15. Fig. 16.

Fig. 16 diejenige derselben Platte, aber formiert, gegeben. Durch das auf der Oberfläche gebildete Bleisuperoxyd, welches ein geringeres spezifisches Gewicht als das Blei hat, werden die Furchen ausgefüllt.

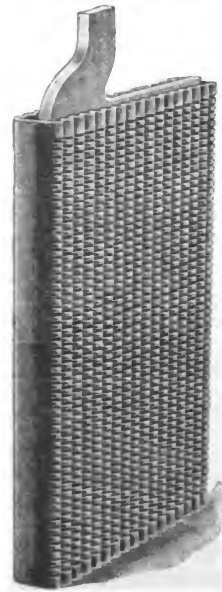
Um die bei etwa abfallender Superoxydmasse möglichen Kurzschlüsse im Element zu vermeiden, sind die verschiedensten Auskunftsmittel versucht worden. Am meisten empfehlenswert ist es, die Beseitigung solcher, zwischen den Elektroden hängender Stücke durch vorsichtiges Abdrücken mit einem Glasstab auf den Boden des Gefässes zu bewirken. Besonders günstig für die Entdeckung von Kurzschlüssen ist es, wenn Glasgefässe als Behälter für die Elektroden dienen und die Elemente so aufgestellt sind, dass leicht zwischen den Platten hindurch gegen das Tageslicht gesehen werden kann. Etwas schwieriger, aber doch noch angängig, ist das Auffinden zwischen

Digitized by Google

den Platten sitzender Masse bei der Durchleuchtung des Elements von oben mittels Glühlampe und Reflektor.

The Willard-Storage-Battery-Co. (30 Broadway, New-York) sucht Kurzschlüsse dadurch zu vermeiden, dass die elektrochemisch formierte Platte in eine perforierte Ebonittasche gesteckt wird. Fig. 17 zeigt die derartig umhüllte Platte.

Fig. 17. (Willard.)



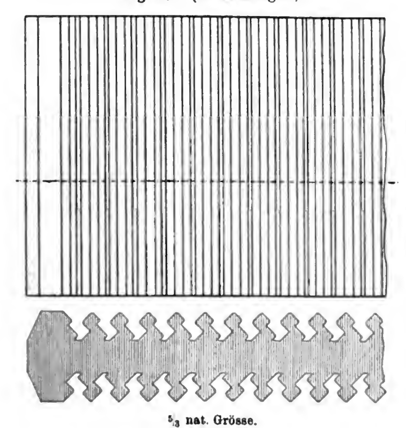
Diese Form und Durchbrechung der Ebonithülle soll den Nachteil vieler anderer, ähnlicher Vorkehrungen vermeiden, der darin besteht, dass der Zutritt der Säure zu der Platte, resp. dem Superoxyd, erschwert wird.

Auf sehr vorteilhafte Weise werden die in Fig. 18 und 19 dargestellten Elektrodenplatten der „Bleiwaren- und Accumulatorenfabrik Bélabánya" (Ungarn) von Berks-Renger hergestellt. Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Fabrikaten werden hier die Bleigerippe vermittelst hydraulischen Druckes erhalten. Es ist erstaunenswert, dass auf diese Weise Platten bis zu ¼ m Breite und beliebiger Länge noch erzeugt werden können. Wie die von der Firma freundlich überlassenen Muster zeigen, ist die Struktur dieser gepressten Platten ausserordentlich homogen und tadellos. Mittels einer Presse können pro Tag mit Leichtigkeit 20 Tonnen Bleiplatten gepresst werden, was eine Massenfabrikation vorstellt, welche bis jetzt auf keinem anderen Weg annähernd erreicht wird.

Der Freundlichkeit des Grusonwerkes in Magdeburg (Friedrich Krupp), welches Bleipressen grössten Kalibers anfertigt, verdankt Verfasser die in Fig. 20 und 21 gegebenen Skizzen. Fig. 20 gibt die Ansicht einer hydraulischen Bleipresse einfacher Konstruktion (ohne Heizvorrichtung für den Metallbehälter) für einen Druck bis zu 500000 kg. Fig. 21 gibt den Querschnitt des Metallbehälters (diesmal mit Heizvorrichtung). Der Pressstempel, sowie die Matrize sind hier für die Erzeugung von Bleikabeln eingerichtet, dagegen ist die übrige Anordnung für das

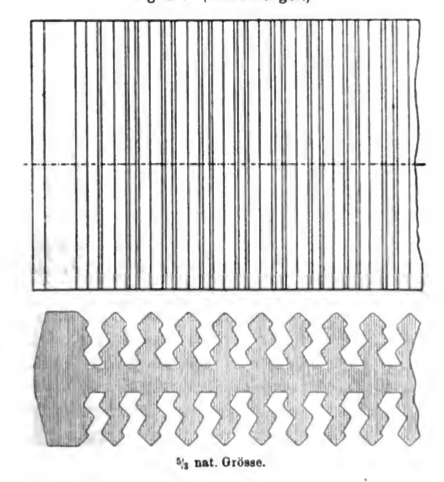
Digitized by Google

Fig. 18. (Berks-Renger.)



5/3 nat. Grösse.

Fig. 19. (Berks-Renger.)



5/3 nat. Grösse.

Digitized by Google

Pressen von Bleielektroden giltig. Fig. 22 zeigt noch besonders den Querschnitt des Presscylinders und Stempels der Berks-Renger-Presse. „Die Matrizen sind nach dem „Typensystem" eingerichtet und können durch Einlage oder Entnahme der Typen beliebig breit und schmal, sowie der Mittelsteg beliebig stark eingestellt werden." — Je nach dem Zweck, welchem die Platten zu dienen haben, wird die Bleiober-

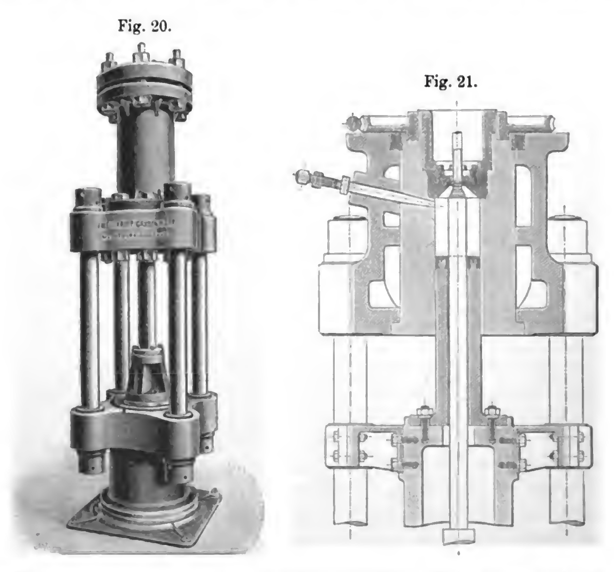


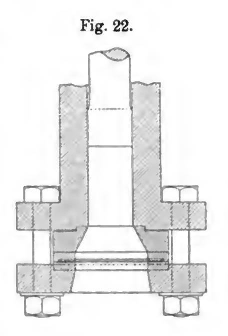
Fig. 20. Fig. 21.

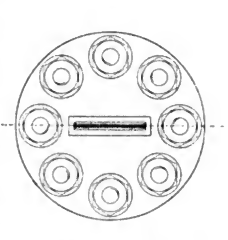
fläche mehr oder weniger ausgiebig gestaltet. In Fig. 18 sind die Rippen feiner, zahlreicher und weniger tief gehend, als in Fig. 19. Die Anbringung der Bleisuperoxydschichte erfolgt nach einem abgekürzten Planté-Formierungsprozess. Es geht aus der kräftigen Dimensionierung vorliegender Muster hervor, dass sie für „stationäre" Batterieen bestimmt sind. Ganz besonders sollen diese Platten, weil sehr billig und dauerhaft, für Accumulatoren für Kraftaufspeicherung Anwendung finden. Es ist ersichtlich, dass, anstatt eine Planté-Schicht von Anfang an auf den Elektroden zu erzeugen, es ebenfalls, nach dem Beispiel der älteren Tudor-Platte, möglich ist, den Raum zwischen

Digitized by Google

den Rippen mit Bleioxyden auszufüllen, welche offenbar ziemlich gute Lagerung vorfinden und wohl erst nach längerer Zeit ihren Platz verlassen, um an die inzwischen gebildete Planté-Schicht die weitere Funktion abzutreten. Es lässt sich annehmen, dass auch die Planté-Schichte, beim etwaigen Abschälen von der Bleiunterlage, nicht leicht zu Boden fallen kann, sondern, als Füllmasse dienend, in den Furchen sitzen bleibt und weiter an der Aufspeicherung des Stroms teilnimmt.

Fig. 22.





Eine eigentümliche Mittelstellung zwischen dem Planté- und dem Faure-Accumulator nehmen die, nach dem Patent von A. de Khotinsky hergestellten Elemente der Elektrizitätsgesellschaft Gelnhausen ein. Der Träger oder die leitende Unterlage der Elektrode wird ebenfalls, wie beim System Berks-Renger, durch hydraulische Pressung erhalten (D. R.-P. Nr. 35396). Dagegen wird die Kapazitätsgebung sowohl bei den Bleischwamm- als bei den Superoxydplatten durch Einbringen von Füllmasse in die Träger erreicht. Diese Füllmasse wird aber nicht mit Bleioxyden oder Bleisalzen, sondern aus äusserst fein verteiltem, metallischem Blei, sogenanntem „Bleistaub" bereitet. Ein Stück eines Trägers für die Bleischwammelektrode ist in Fig. 23 und ein ebensolches, aber für die Superoxydelektrode, in Fig. 24 dargestellt. Der Unterschied zwischen den beiden Streifen besteht darin, dass die „Seele" bei dem Bleischwammträger dünner ist, ebenso die darauf senkrecht stehenden, sich nach aussen konisch erweiternden Rippen, und dass die Rippen weiter auseinander stehen als beim Superoxydträger. Das Superoxyd leitet weniger gut als der Bleischwamm oder, genauer ausgedrückt, um dieselbe Ausnützung der Füllmasse zu erreichen, ist der Abstand der Superoxydmasse von der leitenden Unterlage kleiner zu wählen als beim Bleischwamm, was durch die engere Stellung der Rippen bei dem Superoxydträger erreicht wird. Die stärkere Dimensionierung der Rippen und des Kernes ist mit Rücksicht auf die allmähliche Umwandlung des Super-

Digitized by Google

oxydträgers während des Gebrauchs gerechtfertigt. Die ca. 44 mm breiten Streifen kommen als endloses Band aus der Bleipresse hervor und werden durch eine sinnreiche Vorrichtung automatisch in Streifen der gewünschten Länge geschnitten. Die Streifen wurden von A. de Khotinsky anfänglich auf etwa zolldicke, auf dem Boden des Zellgefässes liegenden Glasröhren, horizontal nebeneinander gelegt. Zwischen zwei Bleischwammstreifen lag immer ein Superoxydstreifen. Doch war schon die flache Form der Steingutbehälter ein unange-

Fig. 23. (Gelnhausen.)

5/3 nat. Grösse.

nehmer Umstand bei diesem Aufbau, noch mehr aber, dass die nach dem Boden des Gefässes gekehrte Seite der Superoxydstreifen nicht in dem Masse zur Arbeit herangezogen wurde wie die obere Seite. Krümmung der Streifen, sowie ausserordentliches Wachsen infolge von Sulfatbildung und dadurch hervorgerufene Kurzschlüsse machten häufiges Reparieren der Batterieen erforderlich. Die Dauerhaftigkeit der Elemente war trotzdem nicht geringer als bei den anderen zu derselben Zeit (1887) bekannten Accumulatoren. Auch späteren Aenderungen an dieser Montage haftete immer noch der Nachteil an, dass die Füllmasse auf den nach unten gekehrten Seiten der Streifen Neigung

Digitized by Google

zum Abfallen zeigte und dadurch entstehende Kurzschlüsse nicht entdeckt und nur durch gänzliche Demontage des Elements beseitigt werden konnten. Es war daher als ein beträchtlicher Fortschritt zu betrachten, dass, bereits schon zur Zeit der Frankfurter elektrischen Ausstellung (1891), die Bleistreifen zu Platten vereinigt wurden, welche vertikal im Zellbehälter aufgehängt wurden. Fig. 27 zeigt die photographische Ansicht einer Superoxydplatte. Die Streifen liegen in hochkantiger Stellung so übereinander, dass zwischen je zwei Streifen ein

Fig. 24. (De Khotinsky.)

$^5/_1$ nat. Grösse.

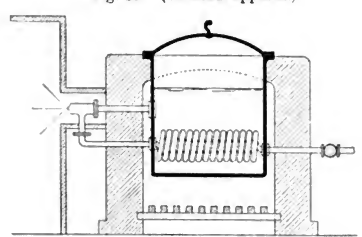
kleiner Spielraum von 5 mm Weite gelassen ist. Im Falle die Streifen sich während des Gebrauchs ausdehnen, ist dadurch Raum auch für das vergrösserte Volum geschaffen. An beiden Endseiten, links und rechts, sind die Lamellen an eine gemeinschaftliche vertikale Bleistange angeschlossen. Diese Verbindung geschieht nicht durch Löten mit Wasserstoff, sondern mittels direkten Verschmelzens des Bleis. Die Streifen, durch eine hölzerne Lehre in der richtigen Lage festgehalten, werden in eine mit Gasflammen erhitzte Eisenblechrinne gestellt und flüssiges Blei in diese Rinne gegossen. Das vorgängige Eintauchen der zu verbindenden Flächen in Stearin erleichtert das

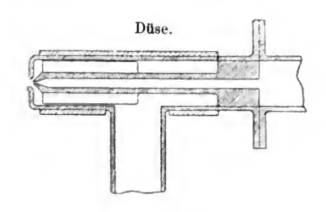
Digitized by Google

Zusammenfliessen der Metallteile. Das Verschmelzen ist nicht nur billiger, sondern auch zuverlässiger als die Wasserstofflötung. Nach der Reinigung der so erhaltenen Platten (durch Waschen mit verdünnter Aetznatronlauge) werden die Streifen mit Bleistaub beschickt.

Für den Accumulatorentechniker bietet das Verfahren, Bleistaub herzustellen, grosses Interesse, indem die, von A. de Khotinsky erfundene, Methode der Verteilung des Bleis wohl den Gipfelpunkt aller Bemühungen in dieser Richtung darstellt. (Es sei hier an die

Fig. 25. (Bleistaubapparat.)





Bleiwolle von Reynier (Paris) erinnert, welche durch Giessen von Blei durch ein feines Sieb in Wasser erhalten wurde. — Nach dem D. R.-P. Nr. 89062 vom 14. Dez. 1895 lässt die „Société civile d'études du Syndicat de l'acier Gérard" geschmolzenes Blei in dünnem Strahle zwischen zwei, nahe aneinander gerückten Kohlen, durch welche ein Strom geht (Lichtbogen), passieren, und die sich bildenden Dämpfe zu einem feinen Pulver kondensieren. Ob das Verfahren praktisch ausgeführt wird, ist dem Verfasser nicht bekannt.

Die nachfolgend beschriebene Darstellungsweise von Bleistaub stützt sich auf die beiden Patente D. R.-P. Nr. 70348 und 86983.

Digitized by Google

Die freundliche Vorzeigung des Apparates, von dem Fig. 25 eine schematische Skizze gibt, seitens der Elektrizitätsgesellschaft Gelnhausen, sei hier nochmals verdankt.

Im D. R.-P. 70348 vom 2. März 1892 lautet Anspruch 1 folgendermassen: „Verfahren zur Herstellung von Bleistaub oder dergleichen, bei welchem flüssiges (geschmolzenes) Blei (Metall) mittels gespannten Dampfes, gepresster Luft oder unter Druck stehenden Gases aus einer Düse herausgesaugt, oder wenn es derselben zufliesst, herausgepresst und beim Austritt aus letzterer zerstäubt wird, indem dabei nur das zu zerstäubende Metall oder nur das zerstäubende Medium oder beide gleichzeitig erhitzt werden.“

Das Zusatzpatent Nr. 86983 vom 9. Dezember 1894 bezieht sich auf eine spezielle Form des Apparates und einzelner Teile desselben.

In Fig. 25 ist die neueste Anordnung des Apparates wiedergegeben. Der mit einem Deckel verschliessbare Schmelztopf ist so eingemauert, dass die Feuerung eine möglichst gleichmässige und kräftige Erhitzung desselben zulässt. Etwa in der Mitte der Höhe ist am Topf ein seitliches Ansatzrohr angeschraubt, welches in die Düse ausmündet und zum Abfluss des Bleis zur Zerstäubung dient. Etwas über dem Boden des Schmelzkessels läuft eine spiralförmig gewundene Schlange aus Eisenrohr, die an zwei diametral gelegenen Stellen der Kesselwand ein- bezw. austritt und einerseits zur Düse, anderseits zu einer Dampfleitung führt. Der Anschluss wird durch ein Regulierventil bewirkt. — Die Düse, in Fig. 25 besonders skizziert, erinnert an einen Injektor oder ein Knallgasgebläse. Durch das innere, engere Rohr, das mehr oder weniger weit in den Düsenkopf vorgeschoben werden kann und zum Zwecke genauer Einstellung mit Führungslamellen versehen ist, fliesst das Blei hinzu. Der Dampf tritt in den Mantel zwischen dem inneren und äusseren Rohr ein und trifft kurz vor der feinen Spitze des Düsenkopfs mit dem Bleistrahl zusammen, diesen verteilend und mit sich führend.

Das unfühlbare Bleimehl, welches hiebei erhalten wird, setzt sich in Flugkammern nieder, wird aus diesen mechanisch fortgeführt, zur Entfernung etwa beigemengter gröberer Bleiteilchen gesiebt und nun zur Bereitung der Füllmasse verwendet.

Schon durch Beimischung von Wasser zum Bleistaub entsteht eine knetbare Masse, die beim Trocknen genügend erhärtet. Die Erhärtung wird durch eine Oxydation des Bleistaubs durch das Wasser bedingt, wie der Bruch der erhärteten Masse, welcher eine gelbliche Farbe zeigt, vermuten lässt. Es ist leicht einzusehen, dass die so

Digitized by Google

erhaltene Füllmasse nicht so porös sein kann, wie die aus Glätte oder Mennige bereitete, da in letzteren Materialien neben Blei auch Sauerstoff enthalten ist, der ein gewisses Volum einnimmt. Bei der Umwandlung z. B. in Bleischwamm, wird dieser Sauerstoff den Bleioxyden entzogen und das zurückbleibende Blei ist auch deshalb schwammig, weil es mit den früher vom Sauerstoff innegehabten Volumteilchen durchsetzt ist. Um nun die Bleistaubmasse noch mehr porös zu gestalten, als sie durch das der Füllmasse zugesetzte Wasser bereits ist, wendet die Elektrizitätsgesellschaft Gelnhausen eine Beimischung von Bimsstein an. Durch den Bimsstein werden kapillare Kanäle im Inneren der Füllmasse geschaffen, auch saugt derselbe an und für sich ein bestimmtes Säurevolum auf, das in guten Kontakt mit dem Bleistaub kommt. Der gegen verdünnte Schwefelsäure beständige Zusatz wird sowohl bei den negativen, als auch den positiven Platten angewendet. Diese Art, die Porosität des Füllmateriales zu erhöhen, erscheint aber doch etwas primitiv, denn ein Verfahren, welches die Poren gleichmässiger über die Masse verteilte, als dies die etwa linsengrossen Bimssteinstückchen thun, scheint vorteilhafter zu sein. So liesse sich dem Bleistaub fein gemahlenes Bittersalz beimischen und die Mischung mit einer gesättigten Bittersalzlösung zur Paste anmachen. Nach der Erhärtung derselben könnte durch destilliertes Wasser das Salz ausgelaugt werden. Ein solches Vorgehen hätte Aussicht, die Superoxydplatten zu verbessern, da die Ausdehnung der Bleiteilchen bei der Umwandlung in Superoxyd dadurch freieres und gleichmässigeres Spiel gewönne und die Teilnahme des Füllmaterials an den elektrolytischen Prozessen eine vollständigere werden müsste. Zusätze, die nicht aktiv an den Reaktionen der Elektroden sich beteiligen, haben bisher wenig Erfolg gehabt.

In dem Prospekt von 1897 begründet die Elektrizitätsgesellschaft Gelnhausen ihr Verfahren: „In der positiven Elektrode unseres Bleistaubaccumulators verhindert die beträchtliche Menge des beigemischten neutralen und sehr porösen Körpers, dass die in Bleisulfat übergeführten getrennt liegenden Teilchen von Bleisuperoxyd geschlossene Schichten bilden können.“

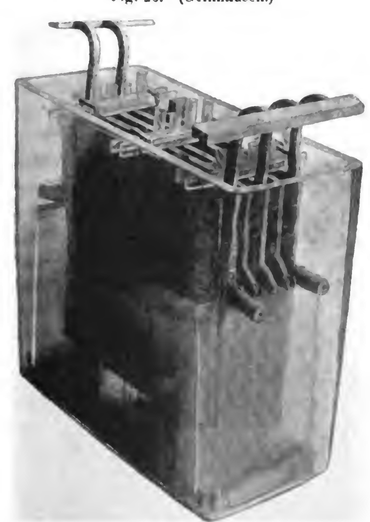
Es wird weiter ausgeführt, dass bei den mittels Bleioxyden bereiteten Füllmassen solche geschlossene Bleisulfatschichten sich bildeten und von nachteiligem Einfluss auf den Widerstand und die Haltbarkeit der Platten wären.

In Fig. 26 ist die Ansicht eines Bleistaubaccumulators, in Glas-

Digitized by Google

gefäss eingebaut, gegeben; die Superoxydelektrode dieses Elementes besteht aus zwei Platten der in Fig. 27 dargestellten Form und Grösse. Die negativen Platten sind gleich gross wie die positiven; jede Platte ist 240 mm hoch, 240 mm breit und 6 mm dick und besteht aus fünf übereinander liegenden Streifen, die an beiden Seiten durch je eine 8 mm breite Bleileiste verbunden sind. Die zwei, links und rechts seitlich angelöteten Bleinasen dienen zur Aufhängung der

Fig. 26. (Gelnhausen.)



Ca. 1/5 nat. Grösse.

Platten auf zwei gläsernen Stützscheiben, welche 180 mm hoch, 125 mm breit und 5 mm dick sind und in auf dem Gefässboden ruhenden, genuteten Holzleisten aufruhen. Die Nasen der Superoxydplatten sind mit Hartgummischuhen versehen, „um Nebenschlüsse durch Schlammablagerung auf der Kante der Stützscheiben zu vermeiden“. Im Glasgefäss, das 320 mm breit, 130 mm lang und 310 mm hoch ist (Innenmasse), befinden sich zwei positive und drei negative Platten; der Abstand derselben beträgt 10 mm und wird durch 4 × 3 Glas-

Digitized by Google

rohre gesichert, in seitlichen Abständen von je 100 mm voneinander. Der Abstand der Platten vom Boden des Gefässes ist 50 mm. Die Ladestromstärke beträgt normal 26 Ampère, das Gewicht der Platten 18 kg. Das Element fasst 9 l verdünnter Schwefelsäure von 1,180 spez. Gew. Das Gesamtgewicht des Accumulators ist 30,5 kg und die Kapazität laut Preisliste 1897

90 87 85 81 77 73 68 60 50 40 Ampèrestunden,

bei der Entladung mit

9 9,6 10,6 11 13 14 17 20 25 40 Ampère.

Die Elektrizitätsgesellschaft Gelnhausen bietet kostenlose Garantie auf

$2\frac{1}{2}$ Jahre, wenn die Entladungsdauer 4 oder mehr Stunden,
2 „ „ „ „ 3 Stunden,
$1\frac{1}{2}$ „ „ „ „ 1 bis 2 Stunden beträgt.



Fig. 27. (Gelnhausen.)

Ca. $\frac{1}{4}$ nat. Grösse.

Accumulatoren für transportable Batterieen werden aus denselben Elektroden angefertigt wie die für stationäre Zwecke. Der Abstand der Platten reduziert sich auf 6 mm, und die Isolation wird durch Ebonitkämme bewirkt (D. R.-P. 58108, 82864 und 88668). Die Gewichtsverhältnisse sind hier z. B. bei Nr. Z (für Zugsbeleuchtung):

Digitized by Google

Element ohne Säure 11 kg; Länge 310 mm, Breite 160 mm, Höhe 190 mm. Verdünnte Schwefelsäure (1,80 spez. Gew.) 3 l. Die Ladestromstärke ist normal 10,8 Ampère.

Die Kapazität dieser Zelle stellt sich auf:

90	80	70	Ampèrestunden bei
3,7	4	4,4	Ampére Entladestromstärke.

Der Zellbehälter besteht aus einem mit Bleiblech ausgeschlagenen Holzkasten, so dass die Kapazität von ca. 5 Ampèrestunden pro Kilogramm komplettes Zellgewicht sich bei Verwendung eines Ebonitbehälters auf ca. 6 Ampèrestunden erhöhen liesse.

Die Elieson-Accumulatoren, von „The Elieson Lamina Accumulator Co. Ltd." (Greenland Place, Camden Town, London) hergestellt, zeigen, ohne Anwendung irgend einer Füllmasse, erhebliche Kapazitäten.

Die Platten, aus perforierten und gerauhten (geriffelten) Bleistreifen zusammengesetzt, sollen eine grössere Arbeitsoberfläche darbieten als bei irgend einem anderen Accumulator. Wenn den günstigen Berichten englischer Experten Glauben geschenkt werden darf, soll sich dieser Planté-Accumulator speziell als Kraftquelle für Motorwagen eignen. In der Preisliste von 1897 sind über die „C"-Type in Ebonitbehälter folgende Angaben gemacht:

Gesamtgewicht des Elements 27 lbs. (12,2 kg); Plattenzahl 7; Länge 7 engl. Zoll oder 178 mm; Breite 4 engl. Zoll oder 102 mm; Höhe 13 engl. Zoll oder 330 mm. Der Ladestrom ist normal 15 bis 25 Ampére, der Entladestrom 20 Ampère.

Die Kapazität dieses Elementes soll bei 20 Ampère Entladung 100 Ampèrestunden und bei nur 10 Ampère Stromstärke 120 Ampèrestunden betragen.

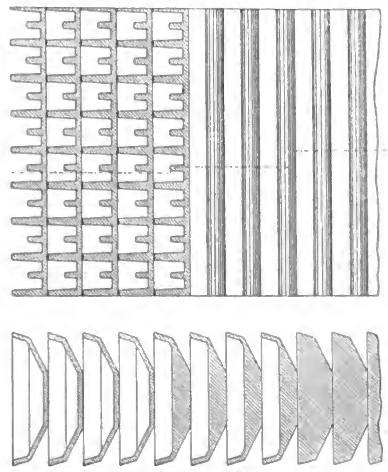
Pro Kilogramm Zellgewicht entfielen damit 8 resp. 10 Ampèrestunden Kapazität; für einen Accumulator ohne Füllmasse eine respektable Leistung.

Eine von allen bisherigen Konstruktionen abweichende Gestalt gibt O. Schulze (Elsässische Elektrizitätswerke in Strassburg) seinen Elektroden. In dem Preiscourant vom Juli 1897 sind einige, leider undeutliche Abbildungen von Platten enthalten, nach welchen Verfasser in Fig. 28 versucht hat, eine etwas deutlichere Vorstellung zu geben. Die Platte wird aus übereinander geschichteten, krippenförmigen Bleilamellen zusammengesetzt, welche an beiden Enden an vertikal laufende Verbindungsleisten verschmolzen werden. Die horizontal liegenden Lamellen sind gerippt, so dass die Platte keine geschlossene,

Digitized by Google

sondern eine durch viele Kanäle durchbohrte Wand vorstellt. Es wird daher mit Recht von Schulze hervorgehoben, dass „die Zirkulation der Flüssigkeit nach allen Richtungen ungehindert" stattfinden kann. Ebenso ist richtig, dass diese Platten „eine grosse leitende Metalloberfläche" haben, und „kein Partikelchen der aktiven Masse mehr als 1 mm von den leitenden Flächen entfernt ist". Zwar soll, wie es scheint, auch mechanisch angebrachtes Füllmaterial auf die gerippten Bleilamellen aufgetragen werden, doch wird dies nur für die Schwamm-

Fig. 28. (Schulze.)



Ca. 2fache nat. Grosse.

bleiplatten empfehlenswert sein. Der Bleischwamm, sowie das durch Planté-Formation auf dem Träger erzeugte Superoxyd dürfte hier ausgezeichnet gehalten werden. Die Haltbarkeit der Platten resp. Lamellen hängt von der Dicke ab und wird bei Verwendung von gepresstem Blei eher höher sein als bei gegossenen Bleiplatten. — Der mit M 3 bezeichnete Accumulator (Seite 4 der Preisliste) zeigt folgende Verhältnisse:

Gew. unverpackt 16 kg	Totalgewicht
Gew. von 7 l Schwefelsäure von 1,21 spez. Gew. 8,47 kg	25 kg.

Digitized by Google

Dabei misst das Element im Glasgefäss in der Höhe 320 mm; in der Breite 180 mm und in der Länge 220 mm.

Die Kapazität desselben beträgt bei

18	12	9	6 Ampère Entladestrom
54	60	66	72 Ampèrestunden.

Pro Kilogramm Gesamtgewicht entfallen somit 2 bis 3 Ampèrestunden Kapazität (bei stationären Accumulatoren). Der Preis ist mit 19 Mark aufgeführt und derjenige einer kompleten, fertig zum Gebrauch aufgestellten Batterie für 110 Volts Spannung zu 1300 Mark angesetzt.

Zum Vergleich und zur Anstellung von Berechnungen seien hier die Dimensionen und Gewichte einiger vorstehend abgebildeter Plattenmuster angeführt.

Name des Musters	Figur Nr.	Dimensionen Höhe	Dimensionen Breite	Gewicht leer	Gewicht gefüllt	Gewicht d. Paste	Verhältnis Blei/Paste
— Gelnhausen	23	44 mm	77 mm	74,85	128,0	53,15	1,41
+ Gelnhausen	24	43 „	75 „	115,80	163,7	47,9	2,42
Alte Tudor	4	70 „	65 „	282,60	327,5	44,9	6,30
Neueste A.-F.-A.-G.	10	30 „	45 „	110,70	132,1	21,4	5,17
Oerlikon	13	35 „	25 „	55,55	70,0	14,45	3,85
Berks-Renger	18	110 „	14 „	115,25	141,0	25,75	4,50
Pollak	11	60 „	100 „	271,70	349,1	77,4	3,52

Hierzu ist zu bemerken, dass diese Muster sämtlich mitten aus einer ganzen Platte herausgeschnitten waren, also keinen verstärkten Rand oder dergleichen hatten. Die Abwägungen und Abmessungen sind auf 1 % genau. — Die Paste, durch Mischen von 300 Gewichtsteilen Mennige mit 54,5 Gewichtsteilen verdünnter Schwefelsäure von 1,21 spez. Gew. erhalten, ist bei allen Plattenmustern dieselbe und etwas dünn genommen worden, um die feineren Fugen der Tudor-Platte vollkommen ausfüllen zu können. Die Wägung der geschmierten Plättchen wurde sofort nach der Pastung vorgenommen.

Die Oberflächenverhältnisse sind auf Grund der exakten Wiedergabe der Muster in den Figuren genau zu berechnen; die Nicht-

Digitized by Google

beachtung des Plattenrandes würde im schlimmsten Falle einen Fehler von einigen Prozenten im Gefolge haben. Durch Schätzung des Randes und Berücksichtigung dieser Schätzung ist die Berechnung auf 1 % genau durchzuführen. Nun sind allerdings, wo Kapazitäten angegeben sind, diese auf die gesamte Superoxydelektrode (inklusive Stromzuführungsleisten) oder auf das gesamte Zellgewicht angegeben. Hier muss man sich bei Vergleichen mit Annäherungswerten behelfen, was insofern noch angeht, als ja, besonders bei Accumulatoren mit Planté-Platten die Kapazität keine konstante Grösse, sondern je nach Umständen sogar recht veränderlich ist.

Von den in Deutschland noch patentrechtlich geschützten, hieher gehörigen Elektroden sind zu erwähnen:

D.R.-P. Nr. 85827. A. Timmis in London. Elektrodenplatte für Stromsammler, patentiert vom 29. Januar 1895 ab. Patentanspruch: „Elektrode für Stromsammler, bestehend aus einem schräg zur Längsrichtung gewellten Bleistreifen, der durch abwechselndes Hin- und Herbiegen derart in Querfalten zusammengelegt ist, dass sich die Wellen des Bleches in jeder Falte kreuzen und dadurch dem Herausfallen der gebildeten aktiven Masse vorgebeugt wird."

D. R.-P. Nr. 27871. Frank Tamblyn Williams und John Charles Howell in Llanelly, England. — Herstellung von porösen Bleiplatten für Accumulatoren vom 7. November 1883. Patentanspruch: „Das beschriebene Verfahren zur Herstellung poröser oder schwammiger Blöcke oder Platten aus Blei oder Bleilegierungen, bestehend in der Erzeugung des porösen Materials durch Ausschöpfen desselben aus dem geschmolzenen Metallbade mit Hilfe einer durchlöcherten Form oder eines ebensolchen Löffels."

Von diesen beiden deutschen Reichspatenten beansprucht das letztere deshalb Interesse, weil nach dem darin geschützten Verfahren die Accumulatoren der „Crompton-Howell Electrical Storage Co. Ltd.", (New Dock, Llanelly, South Wales) seit vielen Jahren hergestellt werden. „Herr Howell erfand einen Prozess zur Herstellung von Platten für Accumulatoren, die aus porösem Blei bestehen. Diese werden dadurch erhalten, dass geschmolzenes Blei auf einer dem Kristallisationspunkt nahen Temperatur gehalten und die halbkristallisierte Masse in Blöcke gegossen wird, welche aus lauter ineinander verwachsenen Kristallen bestehen und nach der Erkaltung in Platten des gewünschten Formats zersägt werden." Die Formierung der Platten erfolgt nach Plantés Verfahren.

Digitized by Google

Der Preisliste der genannten Firma sind nachstehende Angaben über ein Element entnommen:

Gewicht der Platten 55 lbs. (25,0 kg)	Das Totalgewicht ist also 41,7 kg
Anzahl der Platten 11	ohne Glaszelle, welche für diese
Gewicht d. Schwefelsäure 37 lbs. (16,7 kg)	Grösse etwa 3,3 kg wiegen dürfte.

Die Kapazität des Accumulators ist bei

85	33	20	Ampère Entladestromstärke
85	230	240	Ampèrestunden.

Es entfallen per Kilogramm Gesamtgewicht 2 bis 5 Ampèrestunden Kapazität.

Leider können diese Zahlen wenig bedeuten, da über die Dicke der Platten keine Angaben erhältlich waren. (Bei einer älteren Batterie [1890] waren die Platten 25 mm dick.) Ein Nachteil des Howell-Systems ist, dass die Stellen, wo der Strom bei den Superoxydplatten ein- bezw. austritt, nach einiger Zeit ganz durchformiert und dann brüchig werden. Es ist auch anzunehmen, dass es ein Zufall sein müsste, wenn die Diffusion des Elektrolyten durch die ganze Platte gleichmässig stattfände. Daher werden wohl in erheblichem Masse Lokalströme in den Elektroden auftreten.

Bei allen Kapazitätsangaben ist, wenn nicht anderes dabei bemerkt ist, die Kapazität innerhalb eines Abfalls der Klemmenspannung um 10% des Anfangswertes verstanden. Als Temperatur gilt wohl meistens Zimmertemperatur (16° C.).

Zu diesem Gegenstand gehörte eigentlich noch eine kritische Besprechung der verschiedenen elektrochemischen Verfahren zur „Auflockerung", allgemeiner, Vorbereitung der Bleielektroden zur Erzielung einer genügenden Kapazität innerhalb kurzer Zeit.

Da wo bereits Blei im Zustande weitgehender Verteilung angewendet wird (Gelnhausen, Crompton-Howell, Main), genügt das Planté-Verfahren. Bei den anderen Konstruktionen dagegen ist das nicht der Fall. Doch würden nähere Ausführungen den Rahmen dieser Auseinandersetzung überschreiten; solche sollen an anderer Stelle gegeben werden. Soviel möge kurz gesagt sein, dass alle diejenigen Methoden, bei welchen Stoffe, die das Blei auflösen oder stark angreifen (wie Salpetersäure, Chlor, Chlorate, Perchlorate, Essigsäure, Weinsäure), deshalb zu verwerfen sind, weil es beinahe unmöglich ist, die letzten Spuren des Lösungsmittels wieder aus dem Bleikern zu entfernen und bekanntermassen Spuren davon genügen, um die Dauerhaftigkeit der Superoxydelektrode erheblich herabzudrücken.

Digitized by Google

Es sei ebenfalls noch erwähnt, dass das Verfahren von Luckow, wonach Bleiplatten in verdünnten Lösungen von Salzen, wie Glaubersalz, Bittersalz etc. bei entsprechendem Stromdurchgang innerhalb 5 Tagen mit einer genügenden Schichte von Superoxyd überzogen werden sollen, sich nicht bestätigt, indem als Resultat einer grösseren Zahl von Kontrollversuchen des Verfassers durchaus keine nennenswerte Formation von massiven Bleiplatten in solchen Elektrolyten erzielt werden konnte.

Wahrscheinlich haben geringe Verunreinigungen der von Luckow verwendeten Lösungen mit Chlor oder Salpetersäure (die eventuell durch Benützung gewöhnlichen, nicht destillierten Wassers hinzutraten) den von Luckow beobachteten Angriff des Bleis bewirkt. Uebrigens patentiert Luckow (im D. R.-P. Nr. 91707) noch nachträglich die Verwendung verdünnter, angesäuerter Glaubersalzlösung, welche einen minimalen Zusatz, 0,007 % des Gewichts der Lösung, von Natriumchlorat enthält.

Dieses Verfahren ist aber weder praktisch, aus oben angeführtem Grunde, noch neu, indem Verfasser bereits im Jahre 1891 eine verdünnte Lösung von Natriumbisulfat mit einem Zusatz von Natriumchlorat (2,8 % Natriumsulfat, 2 % Schwefelsäure, 95,0 % Wasser und 0,2 % Natriumchlorat) zur Formation von Bleiplatten patentierte. (Amerikanische Patente Nr. 434093, 434301, beide von 1890.)

Digitized by Google

Die Hauptbegriffe der Gleich- und Wechselstromtechnik unter Benutzung mechanischer Hilfsvorstellungen.

Von

Dr. C. Heinke,

München.

Mit 22 Abbildungen.

Einleitung.

1. Es ist eine eigene Sache um die Zwei- oder richtiger Vielseitigkeit aller Wissenschaft und um die Gegenseitigkeit der Bestrebungen, welche einen Wissenszweig fördern. Die technischen Wissenschaften, namentlich die Elektrotechnik, geben da zu manchen Betrachtungen Anlass. Zunächst scheint gegenwärtig der Hinweis nicht überflüssig, dass die scharfe abstrakte Unterscheidung in Theorie und Praxis in Wirklichkeit natürlich nicht statt hat, und dass im Grunde genommen reine Theoretiker ebensowenig wie reine Praktiker denkbar sind. In der vielmehr stets vorhandenen Mischung wird allerdings in der Regel entweder mehr die praktische Seite oder mehr die theoretische das Uebergewicht haben und insofern die kurzweg gebrauchte Unterscheidung in Praktiker und Theoretiker rechtfertigen. Hiebei ist aber das eine zu berücksichtigen, dass die „praktische" Veranlagung mit dieser geistigen Trennung nur sehr lose zusammenhängt; vielmehr ist diese Veranlagung eine rein menschliche und individuelle und deshalb über dem eigentlichen Beruf und der alltäglichen Beschäftigung stehende Eigenschaft, so dass sowohl sie als ihr Gegenteil sich ebensogut bei den sogenannten Praktikern als den sogenannten Theoretikern findet.

Mag in der Technik der Praktiker daher noch so sehr von dem Bewusstsein getragen werden, dass er der Pionier sei, welcher das wirklich brauchbare Material für den Weiterbau liefert und die Hauptarbeit verrichtet, mag er zuweilen über die unpraktische Einseitigkeit

Digitized by Google

manches Theoretikers lächeln, so wird er es doch andererseits streng vermeiden müssen, jede Verbindung mit der „nachhinkenden“ Theorie aufzugeben, will er andererseits selbst nicht zu seinem Nachteil in das andere Extrem derselben Einseitigkeit verfallen. Der Theoretiker hinwiederum sollte selbst bei noch so entlegenen Spezialuntersuchungen nicht vergessen, dass er den Kontakt mit dem grossen Ganzen der Wissenschaft, namentlich aber mit der ihm die unerlässliche Grundlage seiner Gedankenarbeit bietenden Praxis nicht verlieren darf, will er anders nicht in der Luft hängen oder unfruchtbare Arbeit verrichten. Das letztere erscheint nun so einleuchtend, dass es kaum weiterer Ausführungen bedarf. Anderer Meinung könnte aber vielleicht mancher Praktiker bei der vorausgegangenen Behauptung sein. Warum, so könnte er fragen, soll unter den gegebenen Umständen der Praktiker nicht versuchen sich möglichst auf eigene Füsse zu stellen und die Verbindung mit der sich so häufig als unfruchtbar erweisenden Theorie zu lösen? Einfach deshalb, weil er hiebei ein Bedürfnis unterdrückt oder verkümmern lässt, welches der menschlichen Natur innewohnt, solange das Bestreben nach Ganzheit und harmonischer Ausbildung noch nicht verloren gegangen ist. Zunächst ist ohne weiteres klar, dass seine praktische Bethätigung sich nur auf ein bestimmtes Untergebiet erstrecken kann, so dass notgedrungen seine Bethätigung auf den angrenzenden Gebieten einen mehr theoretischen Charakter haben muss, mag seine gewöhnliche Beschäftigung sich noch so sehr der rein praktischen Seite nähern. Das Gefühl des Ergänzungsbedürfnisses oder auch der Trieb zu einer gewissen geistigen Sammlung, einer weiteren Umschau nach der ermüdenden Werktagsarbeit, welche den Blick immer nur auf das Allernächstliegende gerichtet hält, wird immer wieder ein Verlangen des Praktikers nach den ausgereiften Früchten der theoretischen Gedankenarbeit wachrufen. Im Grunde genommen ist dies nichts anderes als eine Aeusserung des ewigen und unausrottbaren religiösen Bedürfnisses einer sonntäglichen Erbauung nach schwerer, gleichförmiger Wochenarbeit. Wenn auch vielleicht durch den Aerger über die Missleitungen falschen Priestertums oder die Rückständigkeit offizieller Satzungen zeitweilig verscheucht, wird sich dieses der Menschennatur innewohnende Bedürfnis doch immer wieder bei jedem selbständig Denkenden durchringen und sein Recht geltend machen. Das Umschauen, obwohl selbst wieder geistige Arbeit erfordernd, entlastet doch die regelmässig beanspruchte Gehirnpartie und erzeugt neuen Lebensmut und frischen Schaffensdrang durch die Ablenkung von dem gewohnten Feld und die Stärkung des Gefühls

Digitized by Google

der Zugehörigkeit zum grossen Ganzen. Denn mag auch vorübergehend das Gefühl der Isoliertheit beim geistigen Schaffen einen eigenen Reiz besitzen, so wird auf die Dauer die wahre Stärke, wie in jeder Staatsangehörigkeit oder Gemeinschaft, doch nur auf dem Gefühle der Zusammengehörigkeit und der Solidarität beruhen.

2. Ein solcher Geist und Gemüt erfrischender Umblick hebt über das Alltägliche hinaus, erweckt Gefühle ähnlich denen des Turmbesteigers, welcher das Strassengewirr und all die Orte seiner täglichen Geschäftigkeit in ihrer gegenseitigen Verbindung von oben mit ungleich offeneren Augen schaut als gewöhnlich; oder denen des Bergsteigers, der einen Gipfel erreicht hat und damit einen Einblick in die Gliederung der Landschaft, welcher Aufschlüsse über manche bei der Thalwanderung aufgestossene, ihm aber im unklaren gebliebene Fragen gibt. Mag daher der Praktiker alltags auf einem noch so vorgeschobenen Posten des Spezialgebietes schaffen und sich als Faserwurzel kaum noch des Stammes als gemeinsamer Sammelstelle erinnern, so wird er doch bewusst oder unbewusst an seinem geistigen Sonntag das Bedürfnis einer gedanklichen Verbindung mit seinen Genossen empfinden und dazu den Weg rückwärts durch den theoretischen Gedankenbau benöthigen. Die meisten werden hiebei einen Führer, welcher sie vor Verirrung schützt und die Zeit und Mühe sparenden Wege weist, gern willkommen heissen, ja häufig nur in einem solchen Falle zu der erfrischenden Gedankenreise sich entschliessen können. Daher sollten aber auch alle diejenigen, deren Aufgabe die Ausgestaltung jenes Gedankenbaues in erster Linie ist, nicht vergessen, welch dankbare Aufgabe ihnen neben ihrer selbst wieder Faserwurzelarbeit darstellenden Spezialforschung noch verbleibt, wenn sie jene Führerrolle übernehmen und womöglich neue, bequemere Wege auszufinden und der Allgemeinheit gangbar zu machen suchen. Diese Sozialreform der Geisterwelt [1]) bietet noch ein grosses Arbeits-

[1]) Es darf doch nicht unerwähnt bleiben, dass in dieser Richtung die Meinungen der Wissenschaftler ausserordentlich voneinander abweichen. Einige stehen auf dem Standpunkt, dass jede Popularisierung, ja sogar jede Erleichterung der Gedankenarbeit verwerflich ist, weil durch eine solche „Profanierung“ der Wissenschaft eine grosse Gefahr drohe von seiten der Uneingeweihten. Nach ihrer Meinung würden die Laien durch solche Erleichterungen übermütig gemacht, verlören den Respekt und wollten alsdann überall mit drein reden.

Der Verfasser kann diesen Standpunkt nicht teilen. Von der Absicht, durch derartige geistige Unterstützung die strenge Gedankenarbeit überflüssig zu machen, ist er schon deshalb weit entfernt, weil nach seiner Ueberzeugung sich in letzter Linie jedes geistige Individuum nur selbst helfen kann und ein allerdings er-

Digitized by Google

feld, das an vielen Stellen dringender der Bearbeitung harrt, als manches schon weiter als zunächst nötig vorgeschobene Spezialgebiet. Alsdann dürfte auch der Wert der wahren Philosophie, deren Name, nicht ohne ihre Schuld, lange Zeit in argen Misskredit geraten war und teilweise noch ist, wieder zu Ehren gelangen und, zurückgekehrt von den mannigfachen Irrwegen, auf welche sie sich durch das Ver-

---

strebenswertes Minimum an selbstgeleisteter Gedankenarbeit vor jedes Ziel gesetzt ist. Vielmehr soll gerade eine Anregung zum Selbstdenken, wo nur irgend möglich, gegeben werden, damit recht viele hiezu veranlasst werden. Eine ernstliche Gefahr für die Wissenschaft kann er aber hierin nicht erblicken, indem dieselbe sich gerade nach dieser Richtung am besten selbst schützt. Ausserdem setzt ja auch jede derartige Erleichterung für das vollere Verständnis schon ein gewisses unumgängliches Mass an wissenschaftlicher Schulung voraus, so verlangt z. B. das Folgende die eine beträchtliche Gedankenarbeit erfordernden Grundlagen der Mechanik. Aber die Vorteile für die Allgemeinheit scheinen entschieden zu überwiegen, wenn möglichst viele zum Streben nach dem für sie erreichbaren Ziel durch Erleichterung der begrifflichen Zugänge aufgemuntert werden und das mittlere wissenschaftliche Niveau dadurch eine Hebung erfährt.

Manche werden zu ihrer Gegnerschaft gegen die Popularisierung, bewusst oder unbewusst, durch die Furcht veranlasst, dass sich die Wissenschaft hiedurch zu viel vergebe, d. h. dass sie zu viel ausgebe und die Differenz zwischen dem Wissenschaftler und dem völligen oder doch relativen Laien zu sehr verringere. Dieses etwas konservative Bedenken scheint dem Verfasser nun völlig unbegründet, denn einmal bleiben bei noch so grosser geistiger Erleichterung immer noch Schwierigkeiten und Spezialisierungen genug, welche die gefürchtete Gleichmachung so wie so verhindern, und ein zweites Mal ist ja die Wissenschaft selbst in dauernder Entwickelung begriffen oder soll es wenigstens sein. Ist nun auch gewiss nicht zu leugnen, dass eine unzeitgemässe Popularisierung sehr wenig wünschenswerte Erscheinungen des Halb- und Viertelswissens hervorrufen kann, so ist doch andererseits der Nachteil nicht zu unterschätzen, den selbst näher verwandte Wissenschaftszweige, wie z. B. die technischen, durch zu einseitiges Spezialisieren erfahren können. Damit die hiedurch entstehende Kluft zwischen ihnen nicht immer schwerer überbrückbar werde und die harmonische Entwickelung zu stark schädige, ist es deshalb erforderlich, dass jenem geistigen Differenzieren auch das notwendige Mass des Integrierens oder der Zusammenfassung entspreche. Eine geistige Brücke, welche den Verkehr, d. i. hier das wechselseitige Verständnis, zwischen ihnen erleichtert, wird daher von jedem als vorteilhaft angesehen werden müssen, der sich nicht auf einen extrem-konservativen, verkehrsfeindlichen Standpunkt stellt. Aus demselben Grunde ist auch derjenige nicht als unwissenschaftlich hinzustellen, welcher versucht, einen neuen Steig zu finden oder für allgemeinere Benutzung herzurichten, um die aufwärts Strebenden nach seiner Meinung rascher oder auch bequemer zum Ziele zu führen, wenn sich nur die Wege später wieder vereinigen oder wenigstens zum gleichen Ziele gelangen. In dieser Hinsicht sollten einem wissenschaftlichen Gebiet keine zu engen, an priesterlichen Kastengeist erinnernden Grenzen gezogen werden, sondern alle ernsthaft Strebenden willkommen sein.

Digitized by Google

folgen ihrer eigenen isolierten Pfade hatte verlocken lassen, ihr Nutzen als verbindendes Glied zwischen den Wissenschaften und gleichsam als deren Extrakt wieder offenbar werden. Das stolze Gebäude der Wissenschaft, welches durch allzu grosse Zersplitterung und die rücksichtslosen Sonderinteressen zu intensiver Spezialforschung hinsichtlich der Achtung und des Ansehns bei der Allgemeinheit stellenweise ins Wanken geraten ist, würde alsdann auch wieder neu gefestigt werden. Denn bezeichnet man jenes Bedürfnis der geistigen Sammlung und Umschau als philosophisches und die Philosophie gleichsam als Wissenschaftsreligion, welche die jederzeit notwendige Ergänzung zu unserem allzeit Stückwerk bleibenden Wissen darstellt, so muss streng darüber gewacht werden, dass jene Ergänzung nicht in Systemen versteinere, sondern sich Hand in Hand mit, aber nicht getrennt von der Erfahrung weiterentwickele, und falls nötig rechtzeitig vor ihren Fortschritten zurüchweiche. Andernfalls müsste statt der naturgemässen Ergänzung, wie früher so hier von neuem, eine ungesunde dauernde Trennung zwischen Glauben und Wissen eintreten, die schliesslich unausbleiblich zu einem den Fortschritt hemmenden Kampf zwischen beiden führt.

3. Eine solche naturgemässe Ergänzung von Wissen und Glauben erfordert aber jedes Wissensgebiet, welches sich auf Erfahrungsthatsachen gründet. Das Wissen oder Kennen der Erfahrungsthatsachen allein gibt noch nicht die Wissenschaft, dazu gehört, dass die einzelnen Thatsachen eine Ordnung und eine geistige Verbindung erfahren, welche unabänderlich mit gewissen Vorstellungen verknüpft ist, die, bewusst oder unbewusst, sich als Modelle, Analogieen, Hypothesen, Theorieen formulieren und die ergänzende Glaubensseite darstellen. Diese die Bausteine und Gebäudestücke bildenden Elemente müssen nun zu jenem Gedankenbau zusammengesetzt werden. Dies ist aber nicht ohne weiteres möglich, da kein fertiger Bauplan vorhanden ist, vielmehr soll dieser erst umgekehrt durch das Zusammenpassen der einzelnen Stücke und Unterteile herausgefunden werden. Da geht es natürlich nicht ohne Probieren, oder auch häufig provisorische Bauten ab, die man vernünftigerweise als Unterschlupf nicht verschmähen, vielmehr dem Nichts oder Chaos vorziehen wird, solange die Aufführung des endgiltigen Baues nicht ermöglicht ist. Namentlich Praktiker, sowie auch Lernende, welche gezwungen sind sich gerade an einer bestimmten Stelle des Baues oder Bauplatzes anzusiedeln, werden gern eine ihren gegenwärtigen Bedürfnissen entsprechende, provisorische Behausung für ihre Arbeitsstätte der blossen Hoffnung

Digitized by Google

auf ein später einmal zu errichtendes definitives Gebäude vorziehen, selbst auf die Gefahr hin sich später einem Umbau aussetzen zu müssen. Wichtig ist hiebei natürlich, dass derjenige, welcher ihnen eine derartige Behausung anbietet, sich den wichtigsten Anforderungen der Bewohner anbequemt und nicht eine für ihre zunächst vorhandenen Bedürfnisse völlig unbrauchbare Einrichtung liefert. Der Trost, dass die eine oder andere Mauer für den definitiven Bau wahrscheinlich nicht geändert werden brauche, wird jenen zunächst wenig nützen. Doch um endlich dieses Bild zu verlassen: wenn der Theoretiker eine für Praktiker und Lernende zum grössten Teil unverständliche Sprache redet, so kann er sich wenig Erfolg von der beabsichtigten Unterstützung versprechen, vielmehr ist es wahrscheinlich, dass sich jene nach einem vergeblichen Versuch zum Verstehen unbefriedigt abwenden werden. Eine Anpassung an die gegebenen Voraussetzungen erscheint daher bei Errichtung des Gedankenbaues als Hauptbedingung. Wird von dem Lern- oder Sammlungbedürftigen verlangt, dass er sogleich völlig abstrakte Darstellungen verarbeiten und dadurch wirkliche Förderung erfahren soll, so muss dieser Versuch scheitern. Gleichungen, die dem im abstrakten Denken geschulten und dauernd geübten Theoretiker den Ueberblick über eine grosse Reihe Erfahrungsthatsachen enthüllen und ihm ein mehr oder weniger grosses Stück jenes endgiltigen Bauplanes zeigen, werden dem wenig geübten Anfänger, oder dem stets zu verkörperlichen gewohnten Praktiker vielleicht nicht das geringste oder nur sehr wenig sagen oder geben können; sie werden vielmehr in vielen Fällen mit Rücksicht auf ihren Hunger „Steinen anstatt Brot“ gleichen. Erst wenn die Hauptbegriffe und die damit notwendig verknüpften Vorstellungen eine genügende Ausbildung erfahren haben und den sich Entwickelnden im wahren Sinne des Wortes etwas geistig Greifbares gewähren, wird eine mehr mathematische Behandlung für sie von Vorteil sein und ihnen die Fassung des Gebietes erleichtern. Eine gedeihliche wissenschaftliche Aus- bezw. Weiterbildung wird sonach auf diesem wie auf allen anderen Gebieten der angewandten Physik die richtige Reihenfolge vom begrifflich Vorstellbaren zum Mathematischen nicht vernachlässigen dürfen, oder mit einem so schlechten Wirkungsgrad arbeiten, dass der Prozentsatz an nutzlos verlorener Zeit und Mühe das Verfahren als unökonomisch kennzeichnen muss [1]).

[1]) Die neuerdings vielfach in technischen Kreisen zu Tage getretene Reaktion gegen die bisherige Hochschulausbildung, welche ihre Spitze namentlich gegen

Digitized by Google

4. Es ist nun eine auch von dem „modernsten“ Theoretiker wohl kaum bestrittene Thatsache, dass vorläufig alle unsere Vorstellungen des mechanischen Untergrundes als Ausgangspunktes nicht entbehren können. Es erscheint daher auch naturgemäss bei allen denjenigen Wissensgebieten, wie z. B. bei der Elektrizitätslehre, welche sich noch im Anfang ihrer theoretischen Entwickelung befinden, oder bei denen mit anderen Worten die einzelnen Erfahrungsthatsachen noch am wenigsten zu einem verhältnismässig endgiltigen Bau vereinigt sind, an den bewusst oder unbewusst notwendigen mechanischen Untergrund anzuknüpfen und mit Hilfe solcher Vorstellungen einen zum Ueberblick geeigneten Standpunkt oder auch einen Ordnungsplan zu gewinnen. Es ist ferner nach den vorausgegangenen Betrachtungen

---

das Zuviel an theoretisch-mathematischer Belastung der Studierenden wendet, dürfte teilweise in der praktischen Unbrauchbarkeit noch nicht genügend abgeschlossener Theorieen, zum grössten Teil aber, nach Ansicht des Verfassers, in jener vielfach unrichtigen Reihenfolge bei der Ausbildung seinen Grund finden. Hiebei ist noch darauf Rücksicht zu nehmen, dass ein richtiges und gedeihliches Vorgehen, das als Hauptziel die innere Förderung des sich Entwickelnden hat, die Fundamente und Elemente eines Gebietes nicht nur flüchtig vorausschicken darf, sondern darauf bedacht sein muss, dieselben der Mehrzahl auf irgend einem Wege so einzuüben, dass sie mit ihnen operieren können, ehe kompliziertere mathematische Betrachtungen folgen. Für Studierende ist Arbeiten im Praktikum nach den Erfahrungen des Verfassers hiezu das weitaus beste Mittel. Dass man natürlich trotz der unzweifelhaften Berechtigung jener Reaktion, soweit sie durch die obigen Umstände veranlasst wird, nicht ins andere Extrem fallen und das Kind mit dem Bade ausschütten darf, liegt auf der Hand. Wollte man als den Schwerpunkt der Hochschulausbildung die Mitteilung und Einübung einer Sammlung von empirischen oder vermeintlich empirischen Formeln und Faustregeln ansehen, so würde man andererseits die Hochschulbildung freiwillig nach der Seite des Handwerksmässigen herabdrücken zum schweren Schaden der Allgemeinheit und der technischen Hochschulen selbst. Soweit jene Reaktion berechtigt erscheint, liesse sie sich sonach etwa in folgende Forderung zusammenfassen: Man soll den auf einem Gebiet der angewandten Physik für abstrakte mathematische Behandlung noch nicht Reifen oder weniger Veranlagten, der aber sonst sehr tüchtig sein kann, nicht sogleich nur auf diesem mehr für theoretische Physik geeigneten Wege zum Ziele führen wollen, ebensowenig, wie man die begriffliche Klärung nur sich selbst und der Zeit überlassen darf; vielmehr ist zunächst die letztere Ausbildung und damit das praktisch so wichtige Gefühl für alles qualitativ Wesentliche nach Kräften zu unterstützen. Denn jemandem, der begrifflich noch nicht ordentlich gehen oder steigen kann, nützen offenbar Schnürstiefel mit allem sonstigen Zubehör sehr wenig, wenn sie auch für den geübten Kletterer ein unschätzbares und unentbehrliches Rüstzeug abgeben können. So selbstverständlich dies ist, scheint es doch in geistiger Beziehung nicht immer genügend berücksichtigt zu werden.

Digitized by Google

einleuchtend, dass, wenn möglich, der Versuch gemacht werden muss, die erkannten Hauptgesetze dieses Gebietes mit denen anderer Wissenszweige in Verbindung zu bringen und, um im obigen Bilde des Wissenschaftsbaumes zu reden, so weiterhin einen möglichst unmittelbaren Verbindungsweg zwischen den Wurzelausläufern und dem Hauptstamm aufzufinden. Letzteres wird naturgemäss nicht ermöglicht durch weitere Verfolgung der Spezialforschung, sondern nur durch vertiefende Ausgestaltung der Elemente, gewonnen durch Betrachtung derselben unter verschiedenen Gesichtspunkten; je tiefer man in die Elemente eindringt, um so mehr wird man sich den Hauptwurzeln anderer Wissensgebiete und gleichzeitig dem alle zusammenfassenden Stamme nähern. Zwar könnte es scheinen, dass die Elemente, einmal begriffen, keiner weiteren geistigen Entwickelung bedürfen. Es wird jedoch jeder in seinem Leben die Erfahrung gemacht haben, dass er Sachen, die er seiner Zeit ganz gut verstanden zu haben glaubt, bei späterer Betrachtung doch mit ganz anderen Augen anschauen und neu verstehen lernt. Es gibt also eine nahezu unendliche Vielfältigkeit des Verstehens, d. h. eine Weiterentwickelung der Auffassung. In besonders hohem Grade trifft dies bei den Grundlagen einer Sache zu, namentlich mit Rücksicht auf den Zusammenhang mit allem Uebrigen. Es erscheint daher für Lernende als auch für Wissende die in verständiger Weise immer wieder den Grundlagen zugewendete Zeit durchaus nicht als Vergeudung; vielmehr wird die Betrachtung derselben unter möglichst vielen Gesichtspunkten sich gewöhnlich dankbarer erweisen, als zu einseitige Beschäftigung mit Detailwissenschaft.

Will man jemandem zur Erlangung einer zusammenfassenden Erkenntnis behilflich sein, auf einem Gebiet, das, wie die elektromagnetischen Erscheinungen, noch keine endgiltige und namentlich für weitere Kreise brauchbare Ausgestaltung jenes Gedankenbaues zulässt, so kommt es fürs erste weniger darauf an, dass die Hilfsvorstellungen völlig bis ins kleinste ausgearbeitet sind und in allen Punkten eine leichte mechanische Nachbildung gestatten: vielmehr wird die Hauptsache auf den wesentlichen Punkten beruhen, wozu in erster Linie das Entsprechen der gegenseitigen Beziehungen bei allen Grunderscheinungen gerechnet werden muss. Gerade darin soll ja der gedankenökonomische Hauptwert der Hilfsvorstellungen liegen, dass man alle diese Beziehungen in ihren möglichen Kombinationen an jenen augenfälligeren mechanischen Hilfsvorstellungen verfolgen und durch jene gedankliche Brücke auf die unsichtbaren Erscheinungen übertragen und so deren inneren Zusammenhang besser fassen kann.

Digitized by Google

Wesentlich erscheint es deshalb auch, dass möglichst alle Elementarbegriffe, welche in dem Gebiet in Kombinationen auftreten, bei jenen Hilfsvorstellungen ihre entsprechende mechanische Wiedergabe finden können und ein hiezu benutztes Modell einen denkbar hohen Grad von Einfachheit behält. Als Elementarbegriffe oder -erscheinungen gelten hiebei alle, welche überhaupt bei einer auch noch so komplizierten Erscheinung des Gebietes als zusammensetzende Faktoren beteiligt sein können. Wer mithin die so verstandenen Elementarbegriffe völlig beherrscht, wird es weiterhin mit qualitativ neuen Erscheinungen eigentlich nicht mehr zu thun bekommen, sondern nur auf verschiedene Kombinationen dieser Elemente stossen.

5. Stärker noch als Faraday empfand Maxwell das Bedürfnis, sich den Zusammenhang der elektromagnetischen Erscheinungen durch mechanische Hilfsvorstellungen zu erläutern. Angesichts der Ausgestaltung, welche schliesslich die abstrakte und scheinbar nur auf einige wie vom Himmel gefallene Gleichungen aufgebaute Maxwellsche Theorie erhalten hat, erscheint es vielleicht sonderbar, dass selten ein theoretischer Physiker so rein und auch später noch so konsequent im Sinne der mechanischen Hilfsvorstellungen gedacht hat wie Maxwell; es ist dies jedoch sowohl aus den von ihm gewählten Bezeichnungen, sowie auch aus seinen weniger bekannten Schriften nachgewiesen worden. Diese von Maxwell zuerst behufs leichterer Zusammenfassung der verschiedenen elektromagnetischen Erscheinungen ausgedachten mechanischen Grundvorstellungen lassen nun eine Ausgestaltung zu, welche namentlich auch das Verständnis der schwierigen Erscheinungen, wie sie die neuere Wechselstromtechnik darbietet, zu erleichtern geeignet ist. Es soll daher im folgenden gezeigt werden, wie die Begriffsbildung sowohl auf elektrischem als auch magnetischem Gebiet durch den Ausbau jener Grundvorstellungen unterstützt werden kann. Im Anschluss an diese Elementarvorstellungen soll alsdann ihre Anwendung auf Kombinationserscheinungen behandelt werden, bei denen sich ihr Nutzen in noch höherem Grade erweisen dürfte. Den Schluss sollen endlich einige weitere daraus ableitbare Betrachtungen allgemeineren Inhalts bilden, welche in dem oben besprochenen Sinne die Verbindung mit anderen physikalischen Wissenszweigen anbahnen sollen [1]. Es sei jedoch sogleich von vornherein betont, dass

[1] Die folgenden Ausführungen sind dem teilweisen Inhalt nach bereits in verschiedenen Artikeln des Verfassers erschienen. Vergl. u. a. „Stahl und Eisen" 1892, Nr. 16—24: Elektrotechnische Briefe, sowie 1897, Nr. 8: Hilfsvorstellungen

Digitized by Google

jene Vorstellungen keine eigentliche Theorie geben wollen, sondern nur eine gedankliche Unterstützung nach Art eines Modelles bezw. einer Analogie gewähren sollen, was jedoch ihrem begriffsklärenden Wert keinen Eintrag thut [1].

Der Hauptvorteil der Maxwellschen Vorstellungen gegenüber der älteren Fluidumstheorie beruht zwar gerade darin, dass sie den untrennbaren Zusammenhang zwischen den elektrischen und magnetischen Erscheinungen berücksichtigen und das Gebiet des Elektromagnetismus umfassen, ohne es sinnwidrig zu zerteilen, oder durch Einführung der Fernwirkung für eine anschauliche Auffassung unzugänglich zu machen; dennoch ist für die folgenden Betrachtungen im Interesse einer besseren Uebersichtlichkeit ein Nacheinander und damit eine vorübergehende gedankliche Trennung der speziellen magnetischen Erscheinungen und Begriffe empfehlenswert, insoweit sie sich auf die sogenannten magnetischen Metalle beschränken. In diesem Sinne möge die folgende Trennung der Betrachtung in die elektrische und magnetische Seite der Hilfsvorstellungen aufgefasst sein.

I. Die auf die elektrischen Erscheinungen bezüglichen Hilfsvorstellungen.

6. Als Ausgangspunkt sei zunächst noch einmal die Maxwellsche Grundvorstellung von dem Aufbau jeglicher Materie kurz wieder-

---

bei magnetischen Erscheinungen; ferner „Elektrotech. Zeitschrift“ 1897, Heft 5, auch 1895, Heft 32: Ueber das Kreislaufgesetz. Einem mehrfach geäusserten Wunsch einer Zusammenstellung glaubt der Verfasser am geeignetsten in dem vorliegenden Vortrag entgegenzukommen, welcher nicht nur eine Zusammenfassung, sondern gleichzeitig auch wesentliche Ergänzungen der Einzelaufsätze enthält.

[1]) Der praktische Nutzen solcher Hilfsvorstellungen wird dadurch nicht gemindert, dass die Wirklichkeit der Vorgänge anders sein kann und wird, indem das innerste Wesen derselben uns als „Ding an sich“ nach aller Voraussicht hier ebenso wie anderswo verschlossen bleibt. Es wird jedoch kaum jemandem einfallen, den praktischen Nutzen einer ähnlichen Hilfsvorstellung, wie sie die Vorstellung der Atome und Moleküle bietet, für viele Gebiete der Naturwissenschaften bezweifeln zu wollen. Selbst wenn solche Hilfsvorstellungen nicht ohne weiteres die quantitativen Gleichungsansätze liefern, um eine vollständige Theorie auszubauen, so kann ihr Vorteil nach der qualitativen, begriffsklärenden Seite doch immer noch gross genug sein. Im übrigen bleibt eine spätere Weiterentwickelung nach der quantitativen Seite ja nicht ausgeschlossen, wofür als Beweis die unbestreitbare Thatsache gelten kann, dass Maxwells Ausgangsgleichungen direkt aus seinen Grundvorstellungen hervorgegangen sind und gleichsam die Frucht seiner mathematisch behandelten mechanischen Hilfsvorstellungen darstellen.

Digitized by Google

holt. Das Wesentliche an dieser Aufbauvorstellung ist einmal die Zusammensetzung jeglicher Materie aus zwei Elementen, den materiellen, als Wirbel vorzustellenden Molekülen und den ausserordentlich viel kleiner vorzustellenden und diese Wirbelmoleküle wie ein dichtes Raumgitter umgebenden ätherischen (elektrischen) Partikelchen, ein zweites Mal das gegenseitige Verhalten beider hinsichtlich Beweglichkeit. Um zunächst jener Vorstellung anschaulich durch eine absichtlich ganz einfache schematische Modellanordnung etwas mehr zu Hilfe zu kommen, stelle Fig. 1 den Durchschnitt durch vier benachbarte, bienenzellenartig aufgebaut zu denkende, materielle Moleküle vor, jedoch ist der Querschnitt der besseren Uebersichtlichkeit zuliebe quadratisch statt sechseckig gewählt. Hiebei stellt a die einzelnen, auf allen Seiten von einer Wandung dichtgedrängter Partikelchen (b) umgebenen Materiemoleküle vor, welche etwa als Aetherwirbel mit bestimmter Wirbelachse zu denken wären. Die elektrischen Partikelchen b nennt Maxwell Friktionsmoleküle, weil ihr Verhältnis gegenüber den Seiten der materiellen Wirbel a denjenigen von Reibungskügelchen zwischen zwei parallelen Begrenzungsplatten entsprechen soll, wie noch weiter unten näher zu betrachten ist. Gleichzeitig spricht sich in diesem Wechselverhältnis zwischen Materiemolekül a und Friktionsmolekül b die in elektrischer Beziehung begrifflich fundamentale Trennung der verschiedenen Materialien in Elektrizitäts-Leiter und -Isolatoren aus. Zwar kann in keinem Falle ein auf die Friktionsmoleküle b ausgeübter Druck, ein sogenannter elektrischer Druck, die Zahl dieser als inkompressibel vorzustellenden und unmittelbar aneinander liegenden Kügelchen innerhalb eines bestimmten Raumes durch Kompression vergrössern; ist jedoch eine geschlossene Strombahn jener Leiter, wozu z. B. alle Metalle gehören, vorhanden und besteht zwischen zwei Punkten dieser Strombahn aus weiter unten näher zu betrachtenden Ursachen eine elektrische, d. h. auf jene Friktionsmoleküle b bezügliche Druckdifferenz, so können die Friktionsmoleküle sich zwischen den Seiten von a hindurch dauernd von der Stelle bewegen oder fortströmen. Das letztere kann allerdings nur geschehen unter Ueberwindung eines gewissen Reibungswiderstandes zwischen a und b, der je nach dem Material von a verschieden gross ist und dessen Koëffizient dem spezifischen elektrischen Widerstand eines Leiters entspricht.

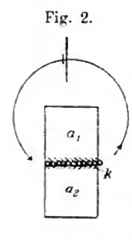
Fig. 1.

7. Bei allen isolierenden Stoffen, z. B. Luft, Glimmer u. dergl.,

Digitized by Google

können die elektrischen Moleküle b nicht dauernd von der Stelle, solange kein Zerreissen bezw. Durchschlagenwerden des Isolationsmaterials eintritt. Wirkt jedoch eine solche elektrische Druckdifferenz auf die Friktionsmoleküle b einer beiderseits von leitenden Schichten begrenzten Isolationsschicht, wie z. B. in Fig. 2 angedeutet, so sollen nach obiger Vorstellung jene Friktionsmoleküle dem Druck etwas nachgeben können, d. h. jener Druckdifferenz ausgesetzt eine elastische (oder nach Maxwell „dielektrische") Verschiebung erfahren. Hierin ist schon ausgedrückt, dass nach Aufhören des Druckes jene Verschiebung durch die geweckten elastischen Kräfte wieder rückgängig gemacht wird, so dass man sich die Friktionsmoleküle aller isolierenden Materialien, etwa wie in Fig. 2 augenfällig angedeutet, durch elastische, etwa kautschukartige Fäden (k) an ihrer Stelle festgehalten denken kann. Bei auftretender Druckdifferenz wird sich also die Bewegung der Friktionsmoleküle in isolierenden Schichten gegenüber der Bewegung im Leiter in gewisser Beziehung nur graduell, aber doch scharf durch ihre Begrenzung unterscheiden. Eine Folge der Inkompressibilität wird ferner sein, dass auf der positiven Seite der Isolationsschicht vorübergehend ebenso viel frei bewegliche Friktionsmoleküle der angrenzenden Leiterschicht in jene hineingepresst werden, als auf der negativen elastisch befestigte aus der Isolationsschicht in die angrenzende Leiterschicht übertreten. Die Verschiebbarkeit der Friktionsmoleküle bei gleicher Dicke der Isolationsschicht und gleicher Druckdifferenz auf beiden Seiten wird aber naturgemäss von dem Isolationsmaterial abhängen. Dieser Materialkoëffizient wird also nach der obigen Vorstellung durch die Verhältniszahl der Kautschukfadendehnung bei zwei verschiedenen Materialien unter sonst gleichen Verhältnissen hinsichtlich Druckdifferenz und Schichtdicke ausgedrückt und gewinnt so eine sehr anschauliche Bedeutung; wird er stets auf Luft als Einheit bezogen, so fällt er praktisch mit der Dielektrizitätskonstanten des Materials zusammen.

Fig. 2.



8. Charakteristisch für diese Vorstellung ist also, dass die Elektrizität nicht geschaffen, sondern durch das Auftreten einer E M K nur in Bewegung gesetzt wird, und dass diese bei einseitig wirkender E M K in einer ebensolchen Verschiebung der Friktionsmoleküle bestehende Bewegung beim Schliessen der Leiterbahn in ein dauerndes Kreisströmen übergeht, während bei ungeschlossener Bahn nur ein kurzdauernder und durch die geweckten Elastizitätskräfte der isolierenden

Digitized by Google

Zwischenschicht bedingter elektrostatischer Verschiebungsstrom zu stande kommen kann. Die Gesetzmässigkeit der nach dieser Vorstellung rein mechanisch auffassbaren elektrischen Bewegungsvorgänge wird sich somit auch aus den mechanischen Gesetzen ableiten lassen, und man kann nunmehr die bei geschlossener Strombahn zunächst innerhalb der Leitung auftretenden Vorgänge zwecks Erleichterung der Begriffsbildung mechanisch in folgender Weise veranschaulichen: Das Auftreten einer E M K oder einer elektrischen Druckdifferenz an einer Stelle der Strombahn wird bei jeder der unten näher zu betrachtenden Ursachen einer sich nur auf die Friktionsmoleküle erstreckenden Pumpwirkung entsprechen. Alle sogenannten Stromquellen (besser eigentlich Erzeuger elektrischer Energie) werden daher die Funktion von Elektrizitätspumpen mit je nach ihrer Einrichtung verschieden grosser Druckdifferenz aufweisen. Wird letztere, wie bei vielen Gleichstromquellen, praktisch konstant erhalten, so wird bei geschlossener äusserer Strombahn und stationärem Strömungszustand der letztere ausser von der Druckdifferenzgrösse nur noch durch die Reibungsverhältnisse der Leitung bedingt sein. Von den auf den Strömungszustand bezüglichen Begriffen wird die sogenannte Stromdichte oder die spezifische, d. h. auf die Querschnittseinheit bezogene Stromstärke durch die Strömungsgeschwindigkeit der Friktionsmoleküle an jener Stelle dargestellt sein, während der technische Begriff der Stromstärke durch die Gesamtgeschwindigkeit, d. h. die durch jeden vollen Leiterquerschnitt in einer Sekunde hindurchtretende Anzahl Friktionsmoleküle gegeben ist. Berücksichtigt man nun ferner, dass der Begriff der Spannungsdifferenz oder der E M K sich nicht auf den ausgeübten Totaldruck, d. h. Einheitsdruck $\times$ Druckfläche bezieht, sondern den Charakter eines spezifischen oder Einheitsdruckes hat, ähnlich wie der hydraulische Druck oder der Dampfdruck, und dass seine Grösse in Volt somit etwa den Atmosphären entspricht, so lässt sich hieraus auf Grund mechanischer Ueberlegungen folgendes ableiten: ein kausales in Verbindung bringen dieses spezifischen Spannungsbegriffes als Ursache mit dem auf den totalen Ausgleich bezüglichen Begriff Stromstärke als Wirkung macht als dritte bedingende Grösse die Einführung des elektrischen Widerstandsbegriffes in der von Ohm zuerst gefassten Weise notwendig. Die Grösse dieses so gefassten elektrischen Widerstandes hat sonach zwar die Reibung zwischen Friktionsmolekül und materiellen Molekülen zur Grundlage und setzt sich formelmässig aus jenem Reibungskoëffizienten ς und den Leiterdimensionen l und q zusammen, aber nicht in der Weise, dass sie einen Ausdruck für die gesamte Reibungs-

Digitized by Google

menge $\varsigma . l . q$ bei der Stromdichte 1 bildet, sondern vielmehr in der Form $\varsigma . \frac{l}{q}$, dass sie einen Ausdruck für die eigentümliche Reibungsgrösse R des Leitungsweges bildet, welche den praktisch wichtigen Zusammenhang zwischen der Grösse des totalen Ausgleiches J und der Grösse der spezifischen Druckdifferenz E liefert. Jene Formulierung $\varsigma . l . q$ würde man hingegen erhalten, wenn die Wandergeschwindigkeit (Stromdichte J_1) mit dem totalen Flächendruck ($\bar{E}$) in Beziehung gesetzt würde, alsdann folgt aus dem Ohmschen Gesetz

$$\frac{E}{J} = R = \varsigma . \frac{l}{q}$$

unter Einsetzung von $\bar{E} = E . q$ für E und von $J_1 = \frac{J}{q}$ für J die Gleichung

$$\frac{\bar{E}}{J_1} = \left(\varsigma . \frac{l}{q}\right) q^2 = \varsigma . l . q.$$

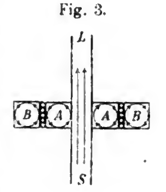
Die Bedeutung der Leistung von Ohm beruht gerade auf dieser praktisch wichtigen Fassung des Widerstandsbegriffes, weshalb auch die Belegung der Widerstandseinheit mit seinem Namen als besonders geeignet anzusehen ist. Eine weitere, auf die elektrischen Stromkreisverhältnisse bezügliche Folgerung lässt sich auf Grund dieser Vorstellungen ohne weiteres auf Grund der Mechanik (speziell der Hydrodynamik) ableiten: Die zur Ueberwindung der Reibungswiderstände einer bestimmten Teilstrecke des Kreislaufes erforderliche Druckdifferenz (Spannungsdifferenz) muss mit Rücksicht auf die Einheitlichkeit der im obigen Sinne gefassten Stromstärke direkt proportional dem Ohmschen Reibungswiderstand sein; das Ohmsche Gesetz muss sonach nicht nur für den ganzen Kreislauf, sondern auch für jeden beliebigen Unterteil desselben giltig sein und in ihm die Ausgleichverhältnisse darstellen.

9. Bis hieher, d. h. insoweit die Verhältnisse innerhalb der Leitung in Betracht kommen, fällt die Maxwellsche Betrachtungsweise so ziemlich mit der einfachen Fluidumstheorie zusammen. Während aber jene die Erscheinungen in der Leiterumgebung nicht mit in den Kreis ihrer Vorstellungen zu ziehen vermag, geschieht dies durch die Maxwellsche Vorstellung in sehr einfacher und natürlicher Weise. Hienach äussert sich die zwischen Friktionsmolekülen und materiellen Molekülen bestehende Wechselwirkung, welche nach der obigen Betrachtung innerhalb des Leiters zur Erklärung der Stromwärme dient,

Digitized by Google

an der Grenzfläche zwischen dem stromdurchflossenen Leiter und der diesen umgebenden Isolationswandung in der Weise, dass die strömenden Friktionsmoleküle auf die vorher in beliebiger Richtung, also ungeordnet liegenden Wirbelachsen der materiellen Moleküle ein Richtungsbestreben ausüben, und zwar derartig, dass sie die Wirbelachsen quer zur Leiterrichtung zu stellen suchen. Diesem Bestreben geben die wiederum elastisch in ihrer ursprünglichen Lage befestigt zu denkenden Wirbelachsen bis zu einem gewissen Grade (der näher unter II betrachtet werden soll) nach, wodurch der magnetische Zustand, d. h. das Entstehen des magnetischen Feldes jedes stromdurchflossenen Leiters seine Erklärung findet. Mag nun die hiedurch hervorgerufene gemeinschaftliche Richtungskomponente auch noch so klein sein, so wird doch gerade dieses Gemeinschaftliche den magnetischen Zustand charakterisieren, weshalb man sich diese Komponente durch Abstraktion herausgehoben und allein ins Auge gefasst denke, so oft es sich um jenes magnetische Feld handelt, da alsdann der ganze übrige, ungeordnete und sich gegenseitig nach aussen hin kompensierende oder bindende Rest hiefür ohne weiteres Interesse ist. Betrachten wir sonach das Stück eines stromdurchflossenen Leiterdrahtes S L der Fig. 3 — natürlich sind die Moleküle der Deutlichkeit halber unverhältnismässig gross gezeichnet —, so wird durch den im Leiter fliessenden (durch die Pfeile angedeuteten) Strom zunächst an jeder Stelle ein richtender Einfluss auf alle den Leiter ringförmig umgebenden Wirbelmoleküle ausgeübt. Die gemeinschaftliche Richtungskomponente würde sich also durch den Wirbelring A A darstellen mit einem zusammenhängenden Achsenfaden in der Ebene senkrecht zur Leiterrichtung, wobei die Achse dieses ringförmigen Wirbelfadens gleichzeitig die Faradaysche Kraftlinie geben würde. Nun ist weiterhin zu berücksichtigen, dass dieser von den strömenden Friktionsmolekülen des Leiters ausgehende Richtungsantrieb genau in gleichem Masse mit der Grösse der erzielten Richtungskomponente eine Vermehrung der Wirbelintensität durch entsprechende Vergrösserung der mit jener zusammenfallenden Geschwindigkeitskomponente herbeiführen wird. Die vom stromdurchflossenen Leiter angestrebte Querstellung würde also auf ein Maximum von übertragener Wirbelintensität zielen. Auf Grund der bisherigen Annahmen von dem Verhalten der Friktionsmoleküle in Nichtleitern folgt aber weiterhin, dass diese sich zunächst auf den angrenzenden

Fig. 3.



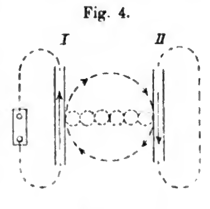
Digitized by Google

Wirbelring A der Fig. 3 erstreckende Wirkung nicht auf diesen beschränkt bleiben kann, sondern sich mit Hilfe der Wechselwirkung zwischen Wirbel- und Friktionsmolekülen von A auf Wirbelring B u. s. f. in die ganze Umgebung, natürlich mit der durch die Energiegleichung bedingten Abnahme der Stärke, fortpflanzen muss. Diese Notwendigkeit ergibt sich durch folgende Ueberlegung: Der von SL ausgehende Antrieb vergrössert nach dem obigen die Geschwindigkeit der Wirbelseiten von Ring A. Die hiedurch entstehende Geschwindigkeitsdifferenz zwischen den aneinandergrenzenden Wirbelseiten von A und B kann bei der zahnradartigen Verbindung beider mit Hilfe der Friktionsmoleküle nicht bestehen bleiben. Da jedes der letzteren sich in der Lage eines kleinen Zahnrades zwischen zwei Zahnstangen befindet, so sind bei verschieden grossen (natürlich stets entgegengesetzten) Geschwindigkeiten der beiden Zahnstangen nur zwei Möglichkeiten vorhanden: entweder wird das Zahnrädchen in Richtung der grösseren Geschwindigkeit mitgenommen, wie man sich leicht mittels eines kantigen, zwischen den beiden verschieden schnell bewegten Handflächen befindlichen Bleistiftes durch dessen jeweilige Stellung im Raum überzeugen kann; oder die grössere Geschwindigkeit der einen Zahnstange wird bei festgehaltenem Zahnrädchen auch auf die andere übertragen, also dieser eine Beschleunigung erteilt. Der letztere Fall muss nun zwischen A und B der Fig. 3 eintreten, da beide nach Annahme einem nicht leitenden oder zum mindesten keinen geschlossenen Stromkreis darbietenden Material angehören und die zwischenliegenden Friktionsmoleküle sonach an ihrer Stelle festgehalten werden. Ein Fortschreiten des Antriebes ist sonach notwendig, und damit ist der Begriff der elektromagnetischen Welle, oder nach Eintritt eines stationären Zustandes, wie bei Gleichstrom, des magnetischen Feldes veranschaulicht. Es ist fernerhin ohne weiteres klar, dass der erste Fall, d. h. ein Nachgeben der Friktionsmoleküle (wie bei dem im Raum fortrückenden, kantigen Bleistift) jedesmal dann gegeben ist, wenn diese elektromagnetische Welle in ihrer Ausbreitung auf einen anderen geschlossenen Leiterkreis trifft. Dieser Fall ist schematisch in Fig. 4 angedeutet, wo die sich von I ausbreitende Welle auf II trifft und in letzterem ein Strömen der Friktionsmoleküle herbeiführt oder einen Strom „induziert“. Letzterer ist, wie ersichtlich, entgegengesetzt dem induzierenden Strom in I und nur während der Dauer und entsprechend der Stärke der Geschwindigkeitsänderung der angrenzenden Wirbel von II vorhanden, d. h. solange kein stationärer Zustand eingetreten ist, bei welchem der resultierende Antrieb zu Null werden muss. Hie-

Digitized by Google

durch ist somit weiterhin der Begriff der Wechselinduktion gegeben und es ist leicht einzusehen, dass die von I wie von der Einwurfsstelle eines in ruhiges Wasser geworfenen Steines sich ausbreitende Welle elektromagnetischer Art in einen dauernden Wellenschlag übergehen muss, wenn durch I ein bezüglich der Friktionsmolekül-Geschwindigkeit dauernd wechselnder Strom, d. h. ein Wechselstrom geschickt wird.

Fig. 4.



10. Eine weitere Folgerung aus dieser durch die Modellvorstellung veranschaulichten elektromagnetischen Verkettung des stromdurchflossenen Leiters mit seinem „Feld" führt endlich zu dem für die Wechselstromtechnik so wichtigen Begriff der Selbstinduktion bezw. zu ihrer Veranschaulichung. Jenes „Feld" wird durch die gerichtete Wirbelintensität aller mittels Verkettung oder Verzahnung beeinflussten materiellen Moleküle der Umgebung charakterisiert; so zwar, dass dieser Zusammenhang durch die Dimensionen und die geometrische Lage des Leiters und die in ihm fliessende Stromstärke einerseits, durch die Richtbarkeit bezw. Aufnahmefähigkeit an Wirbelintensität der ihn umgebenden materiellen Wirbelmoleküle andererseits bestimmt ist. Wird jener erste nur auf den Leiter bezügliche Koëffizient mit L, die Stromstärke mit J und der auf die Aufnahmefähigkeit bezügliche Koëffizient mit μ bezeichnet, so bildet sich jenes Bewegungsmoment zu $L \,.\, \mu \,.\, J$. Bei allen sogenannten unmagnetischen Materialien ist diese Richtbarkeit bezw. Aufnahmefähigkeit praktisch gleich gross und unveränderlich, d. h. Richtung und Wirbelintensitätsveränderung erfolgen direkt proportional mit der Stromstärke; setzt man bei ihnen diesen Koëffizienten (der wie unter II näher zu betrachten durch die magnetische Permeabilität charakterisiert ist) gleich der Einheit, so hängt das elektromagnetische Bewegungsmoment beim Unterbrechen des Stromes nur noch von Stromstärke und Leiteranordnung ab. Dieses elektromagnetische Bewegungsmoment $L \,.\, J$ entspricht also dem mechanischen Bewegungsmoment (Bewegungsgrösse) $M \,.\, v$, wenn M die zu bewegende Masse und v die Geschwindigkeit bedeutet, woraus auch die auf die Umgebung übertragene und als „lebendige Kraft" aufgespeicherte elektromagnetische Wirbelenergie sich entsprechend $M \,.\, \frac{v^2}{2}$ zu $L \,.\, \frac{J^2}{2}$ ergibt. Für die Stromstärke gleich der Einheit wird jenes Bewegungs-

Digitized by Google

moment also eine Art elektromagnetisches Trägheitsmoment darstellen und einzig und allein noch durch die Leiteranordnung bedingt sein. Dieser der Leiteranordnung eigentümliche Koëffizient L wird sonach ein Mass für die beim Entstehen der Einheitsstromstärke aufzuwendende Energie liefern oder andererseits wegen der den materiellen Wirbelmolekülen zukommenden Masse bezw. Trägheit einen Ausdruck für die im Feld oder im Leitersystem in Form von Wirbelintensität aufgespeicherten „lebendigen Kraft". Diese elektromagnetische Wirbelenergie tritt beim Unterbrechen der Stromeinheit aus ihrem latenten Zustand wieder heraus und bedingt auf Grund des Prinzips der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung durch Rückwirkung auf den Leiterkreis die Erscheinungen der elektromagnetischen Trägheit oder der Selbstinduktion. Der Selbstinduktionskoëffizient erlangt sonach durch diese Deutung als eine Art elektromagnetisches Trägheitsmoment der Leiteranordnung eine ganz bestimmt fassbare Bedeutung und durch die Vorstellung des mit dem Leiterstrom schwungmassenartig verketteten magnetischen Feldes eine wünschenswerte Anschaulichkeit.

Da bei periodischem Wechselstrom der Strom und damit die Wirbelrichtung, so oft das Zeichen wechselt, als Stromwechsel eintreten, so muss der elektromagnetische Trägheitswiderstand der Feldwirbel dauernd überwunden werden. Um deshalb einen Ausdruck für die Grösse dieses zusätzlichen Wechselstromwiderstandes bezw. für die Grösse der zu seiner Ueberwindung erforderlichen Druckdifferenz E_L zu erhalten, muss zu jenem Produkt von J . L noch ein auf die sekundliche Wechselzahl z und die Wellenform bezüglicher Zahlenfaktor c hinzutreten, der mit $c . z = p$ bezeichnet sei. Die Grösse des von einem bestimmten Trägheitsmoment in einem beliebigen Moment verursachten Widerstandes hängt nämlich von der Geschwindigkeits*änderung* ab, so dass nach mechanischer Analogie der in einem beliebigen Moment dargebotene Trägheitswiderstand $= \frac{d}{dt} (J . L)$ ist, oder bei Konstanz von L

$$L . \frac{dJ}{dt}.$$

Setzt man für J die Gleichung für die periodische Stromwelle ein, so erhält man $\frac{dJ}{dt} = p . J$. Für den speziellen Fall der Sinuswelle d. h. $J . \sin \alpha = J \sin (pt)$ würde der Faktor $c = \pi$ und p den Wert $\pi . z$ annehmen. Die zur Ueberwindung der Selbstinduktion er-

Digitized by Google

forderliche E M K bezw. effektive Spannungsdifferenz E_L ist sonach, wenn für J gleichfalls der effektive Mittelwert eingesetzt wird,

$$E_L = J \cdot p \cdot L.$$

Befindet sich Eisen in der Nähe der Leiteranordnung, so dass jener Koëffizient μ grösser als die Einheit wird, so tritt für eine bestimmte konstante Stromstärke J an Stelle von L das Produkt $L \cdot \mu$, wenn für μ die Permeabilität des ganzen Kreislaufes eingesetzt wird, d. i. das Verhältnis der im eisenhaltigen Kreislauf vorhandenen Kraftlinienanzahl zu der Anzahl bei eisenfreiem Kreislauf. Für periodischen Wechselstrom muss, abgesehen von dem Einfluss etwaiger Wirbelströme, wegen der Veränderung von μ mit der Stromstärke, für μ ein entsprechender, experimentell zu erhaltender Mittelwert eintreten, so dass für eine bestimmte, effektive Stromstärke J sich

$$E_L = J \cdot p \cdot (L \cdot \overline{\mu})$$

ergibt. (Weitere Betrachtungen sollen unter III folgen.)

11. Nach dieser Veranschaulichung der in der Elektrotechnik wichtigen elektrischen Grundbegriffe mögen noch die wichtigsten Ursachen für die Entstehung einer elektrischen Spannungsdifferenz berührt werden. Nach der obigen Anschauung wird stets ein in letzter Linie mechanisch vorzustellender Druck auf die Friktionsmoleküle das bewegende Moment oder die E M K bilden. Ein solcher Druck wird zwar immer bei mechanischer Reibung zweier verschiedener Körper erzeugt werden, jedoch wird in den allermeisten Fällen seine Wirkung so rasch vorüber gehen, dass die Zwischenrolle der Elektrizität zwischen der mechanischen Reibung und der durch den elektrischen Ausgleich erzeugten Reibungswärme gar nicht zur Erscheinung und dem Beobachter zum Bewusstsein gelangt. Nur in bestimmten Fällen, wo die beiden verschiedenen, der Reibung unterworfenen Teile unmittelbar nach der Reibung einer vorzüglichen Isolation unterworfen werden und die einzelnen Teildrucke, bezw. gedrückten Elektrizitätsmengen der Sammlung zugängig sind, wie bei allen Vorrichtungen, welche zur Erzeugung von Reibungselektrizität benützt werden, lassen sich diese in der Erzeugung von elektrischer Spannungsdifferenz bestehenden Reibungswirkungen der Beobachtung zugänglich machen. Diese Erscheinungen haben als erste und lange Zeit allein bekannte Aeusserungen des elektrischen Zustandes der ganzen Wissenschaft nicht nur den Namen gegeben, sondern auch die geschichtliche Entwickelung der Anschauungen sehr stark beeinflusst. Der Reibungselektrizität wurde deshalb bis auf die neueste Zeit ein eigenes Vorstellungsgebiet

Digitized by Google

zugewiesen, weil ihre Erscheinungen von denen der fliessenden Elektrizität oder des Galvanismus abweichend und mit letzterem nicht gut vereinbar zu sein schienen. Beide lassen sich aber ohne jeden Zwang in die Maxwellschen Grundvorstellungen einfügen. Alle reibungselektrischen Erscheinungen stellen sich hienach als dielektrische Verschiebungen dar, entsprechend den oben erwähnten bei unvollständigem Leiterkreis (vergl. § 7). Hiebei ist ein Anhäufen der Elektrizität in dem früher gewöhnlich vorgestellten Sinne zwar auf Grund der Inkompressibilität der Friktionsmoleküle ausgeschlossen, dennoch gibt positiv und negativ elektrisch einen sehr gut fassbaren und sogar weit ungezwungeneren Sinn als früher, wenn man es wie oben durch die Trennungsfläche zwischen frei beweglichen und elastisch festgehaltenen Friktionsmolekülen charakterisiert. Die schon früher bekannte Thatsache, dass, wie man sich ausdrückt, nie eine Menge der einen freien Elektrizität erzeugt werden könne ohne eine gleich grosse Menge freier Elektrizität der anderen Art, welche beide stets durch die elektrostatischen Drucklinien korrespondieren, erscheint nach Maxwells Vorstellung als völlig selbstverständlich. Der Hauptunterschied zwischen den reibungselektrischen Vorgängen und den galvanischen ist gradueller Natur, insofern gewöhnlich die Faktoren, welche den Ausdruck für die elektrische Energiemenge bilden, bei jenen durch kleine, verschobene Elektrizitätsmengen und hohe Druckdifferenzen, bei diesen durch verhältnismässig grosse in Bewegung gesetzte Elektrizitätsmengen und verhältnismässig kleine Drucke charakterisiert sind. Hinsichtlich der elektrostatischen Erscheinungen bilden die beiderseitig, wenn auch in verschiedener Form benützten Kapazitäten den Uebergang aus einem Gebiet ins andere, während die elektrodynamischen Ausgleichserscheinungen unverkennbar dieselben charakteristischen Merkmale aufweisen.

12. Praktisch wichtiger als diese elektromechanischen Ursachen zur Erzeugung von elektrischen Druckdifferenzen sind die elektrochemischen. Charakterisiert werden alle diese Vorrichtungen durch zwei räumlich getrennte, chemisch verschiedene und als Elektroden bezeichnete Materialien, welche durch chemisch wirksame Flüssigkeit in Verbindung stehen. Um mit den hiebei eintretenden unsichtbaren und deshalb als molekular bezeichneten Vorgängen eine gewisse Anschaulichkeit zu verbinden, würde nach der obigen Grundvorstellung der Verlauf des Prozesses etwa folgender sein: von der negativen oder Lösungselektrode gehen Moleküle und mit diesen Friktionsmoleküle in die Lösung der chemisch aktiven Flüssigkeit über. Diese molekulare

Digitized by Google

Umlagerung bewirkt auf Grund der Inkompressibilität der Friktionsmoleküle einen Druck auf die Friktionsmoleküle der positiven oder Ableitungselektrode. Bei aussen offenem Stromkreis kann diesem Druck nicht dauernd nachgegeben und es wird somit durch Rückwirkung der Verlauf des chemischen Prozesses — abgesehen von sogenannten Lokalaktionen — verhindert werden. Dass dieser Druck von seiner Ausgangsstelle, d. i. der Berührungsfläche von Elektrode und Flüssigkeit sich wie der hydraulische Druck ins Innere und nach jedem Punkt der zunächst abgesperrt gedachten Leitung überträgt, bietet der Vorstellung keine Schwierigkeit. Wird jedoch der äussere Stromkreis zwischen Ableitungs- und Lösungselektrode geschlossen, so wird der elektrische Ausgleich nach dem Ohmschen Gesetz erfolgen, wobei natürlich der gesamte Kreislaufwiderstand einschliesslich des inneren Widerstandes des als Elektrizitätspumpe wirkenden „Elementes" bedingend auf die Ausgleichstärke wirkt. Ausser diesem elektrischen Reibungswiderstand wird aber im vorliegenden Fall noch ein weiteres Moment den Ausgleichsvorgang beeinflussen, d. i. die Leistungsfähigkeit des „Elementes", welche durch den Ablauf des chemischen Prozesses bedingt wird. Die negativ gelösten und positiv abgeleiteten Friktionsmoleküle, welche nach dieser Vorstellung in Uebereinstimmung mit dem Faradayschen Gesetz an die Zahl der umgelagerten materiellen Moleküle gebunden sind, können also nur so weit gesteigert werden, als das Element infolge seiner Beschaffenheit im stande ist, mit diesem Umlagerungsprozess nachzukommen. Erscheinung und Begriff der sogenannten Polarisation u. dergl. werden hiedurch der Vorstellung zugänglicher. Es ist nun weiterhin die Entstehung eines derartigen Druckes auch bei der sogenannten Kontaktelektrizität, sowie bei den thermoelektrischen Erscheinungen unschwer vorzustellen, wenn man an der Berührungs- bezw. Lötstelle der beiden chemisch verschiedenen Metalle eine verschieden grosse Umfangsgeschwindigkeit der Wirbelmoleküle voraussetzt und sich bei den Thermoelementen diese Verschiedenheit auch bei geschlossenem äusserem Stromkreis durch die zugeführte Wärme erhalten denkt.

13. Die technisch weitaus wichtigste Ursache der elektrischen Druckdifferenz bildet jedoch die elektromagnetische Induktion. Das Entstehen eines längs des Leiters gerichteten Druckes auf seine Friktionsmoleküle ist zwar bereits aus den Verhältnissen bei der Wechselinduktion (Fig. 4) erklärlich. Während im letzteren Fall Leiter II still stand und sich das Feld über ihn hinbewegte, stehen bei der elektromagnetischen Induktion häufig die Wirbelfäden bezw. Kraft-

Digitized by Google

linien des „Feldes“ fest und der Leiter schneidet durch sie hindurch. Obwohl hiedurch der Antrieb auf die Friktionsmoleküle des Leiters in dem einen oder anderen Sinn je nach Bewegungsrichtung des letzteren, wie in Fig. 5 angedeutet, plausibel wird, so lässt sich ein sicherer Beweis hiefür, ebenso wie dort (Fig. 4), doch nur hydrodynamisch führen, wie es von Maxwell geschehen ist. Bei einer derartigen Behandlung folgt alsdann, dass die Wirbelfäden im Moment des Durchschnittenwerdens von seiten des Leiters in ihrer Längsrichtung verkürzt, in ihrer Umfangsgeschwindigkeit hingegen an der Schnittstelle vergrössert werden, welche Geschwindigkeitsdifferenz gegenüber der Umfangsgeschwindigkeit der Leiterwirbel jenen Druck verursacht. Letzterer greift natürlich nur an der Oberfläche des Leiters an, pflanzt sich aber, wie schon oben erwähnt, sogleich ins Innere sowie auf die entfernter liegenden Punkte fort[1]). Die Verhältnisse werden hiebei, abgesehen von den weiter unten zu behandelnden Einflüssen der geweckten elektromagnetischen Elastizitäts- und Trägheitskräfte auf den Ausgleich, hinsichtlich der erzeugten Druckdifferenz dieselben sein, ob die Druckrichtung wie bei Gleichstrom dieselbe bleibt oder wie bei periodischem Wechselstrom dauernd wechselt. Stets wird die erzeugte mittlere Druckdifferenz durch die resultierende Anzahl der in der Zeiteinheit geschnittenen wirksamen Kraftlinien, d. i. nach obiger Vorstellung das Produkt aus der natürlich entsprechend den Wirbelmolekülen unveränderlichen Anzahl von Wirbelfäden und deren Wirbelintensität gegeben sein. Obwohl die Rechnung mit Kraftlinien für die Praxis als bequemer entschieden vorzuziehen ist, so ist andererseits das Entstehen und Verschwinden der Kraftlinien der Vorstellung nicht recht zugänglich, weshalb in dieser Beziehung die Wirbelfäden für sie eintreten werden. Der Generator für die elektrische Druckdifferenz wird jedoch bei Wechselstrom mechanisch anders zu veranschaulichen sein. Während der Gleichstromgenerator wie bisher einer im gleichen Sinne treibenden Saug- und Druckpumpe entspricht, würde der periodische Wechsel-

Fig. 5.

L S

[1]) Anknüpfend an die vom Verfasser zuerst in „Stahl und Eisen“ (vergl. Elektrotechnische Briefe 1892) entwickelten Vorstellungen hat Herr Prof. Weyde (vergl. „Elektrotechn. Zeitschrift“ 1897, Heft 34) einige speziellere Fälle mit noch etwas weitergehender zeichnerischer Ausführung behandelt, worauf Liebhaber weiterer Detailausführung hingewiesen seien. Der Verfasser hat dieselbe vermieden, weil ihm die Nachteile einer solchen grösser als die Vorteile zu sein scheinen.

Digitized by Google

stromgenerator einem für Friktionsmoleküle undurchlässigen Kolben entsprechen, der an einer Stelle der Leitung eingeschaltet, einen der Zeit nach sinusförmig verlaufenden Antrieb zu erteilen hätte. Vor der näheren Betrachtung von Mechanismen, deren Bewegungserscheinungen als Analogie elektrischer Vorgänge aufgefasst werden können, mögen jedoch die auf die magnetische Seite bezüglichen Hilfsvorstellungen betrachtet werden.

II. Die auf die magnetischen Erscheinungen bezüglichen Hilfsvorstellungen.

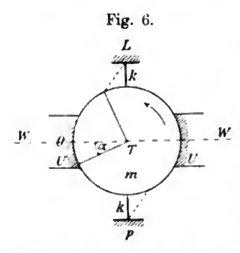
14. Die allgemeinen und mit dem Vorhandensein einer elektrischen Strömung stets untrennbar verbundenen elektromagnetischen Erscheinungen sind bereits in § 9 betrachtet worden. Daselbst wurde jedoch zunächst von der Gegenwart sogenannter magnetischer Materialien in der Leiterumgebung abgesehen, d. h. solcher Materialien, welche wie Eisen, Kobalt und Nickel in ihrem magnetischen Verhalten stark abweichen von allen übrigen und zum Gegensatz als unmagnetisch bezeichneten Materialien, obwohl die letzteren in Wirklichkeit nur schwächer und unter sich fast völlig gleich magnetisch sind. Ein wesentlicher Unterschied zwischen diesen beiden Klassen von Materialien besteht aber darin, dass die Moleküle der sogenannten unmagnetischen Materialien praktisch reibungsfrei beweglich sind, während die viel leichter beweglichen Moleküle der sogenannten magnetischen Materialien nur mit mehr oder weniger grosser Reibung aus dem einen magnetischen Zustand in einen anderen übergehen. Hiedurch werden in Verbindung mit der bereits in § 9 erwähnten und bei allen Materialien vorhandenen elastischen Befestigung der Wirbelachsen in ihrer ursprünglichen Lage eine Reihe praktisch wichtiger Erscheinungen hervorgerufen [1]). Zunächst sollen jedoch an einem möglichst einfachen Modell die verschiedenen magnetischen Grundbegriffe anschaulich gemacht werden. Zu diesem Zwecke denke man sich einen Körper, der ähnlich wie das magnetische Molekül mit Reibung beweglich, einer äusseren ablenkenden Kraft unterworfen ist und von elastischen Kräften in seiner ursprünglichen Lage zu erhalten gesucht wird. In Fig. 6 bedeute m das Molekül, das man sich elastisch in seiner Lage festgehalten denke, was hier der besseren Anschaulich-

[1]) Die folgenden Betrachtungen wurden, allerdings teilweise in anderer Form, zuerst in „Stahl und Eisen“ 1897, Heft 8, veröffentlicht.

Digitized by Google

keit halber an den Punkten L und P mittels Kautschukfäden bewerkstelligt sei. Der Bewegungsantrieb auf m bestehe in einem Drehmoment um die Achse T, während die dazu senkrecht stehende Achse W W die feststehende Umgebung U, gegen welche m unter Ueberwindung von Reibungskräften beweglich ist, im Punkte O schneiden möge, solange m in der Mittel- oder Gleichgewichtslage sich befindet.

Fig. 6.



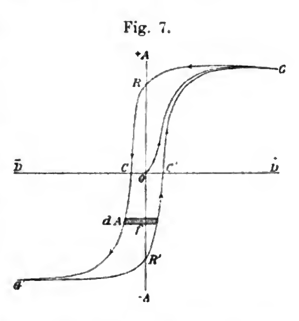
Wenn das von aussen angreifende Drehmoment D jetzt in Richtung des Pfeiles, also für den Beschauer entgegen dem Uhrzeigersinn wirkt und zunächst konstant gedacht ist, so wird m so lange in diesem Sinne gedreht, bis die Spannung von k zusammen mit der Reibungskraft zwischen m und U jener Kraft D das Gleichgewicht hält. Hört jetzt diese äussere Antriebskraft zu wirken auf, so würde, wenn man fürs erste von dem Einfluss der Trägheit absieht und sich zu diesem Zweck die Masse von m klein gegenüber der Reibung auf der Unterlage vorstellt, m durch die sich entspannenden Fäden wieder in seine alte Stellung zurückgezogen werden, wenn die Reibung an der Unterlage nicht vorhanden wäre; die letztere bewirkt aber, dass dieses Zurückführen von m in der Richtung von O nach L nur stattfindet, solange die durch Spannung von k geweckte elastische Gegenkraft grösser ist als die jeder Bewegung von m, gleichviel in welcher Richtung, entgegenstehende (passive) Reibungskraft. Hat jene elastische Gegenkraft beim Entspannen von k bis auf den Wert dieser mit dem Reibungskoëffizienten zwischen m und U proportionalen Reibungskraft abgenommen, so bleibt die Achse W W jenseits ihrer Mittellage nach P zu stehen, d. h. m bleibt in Richtung der letzten Bewegung hinter der Mittellage zurück, eine Eigenschaft jenes mechanischen Modelles, die man mit „Remanenz“ bezeichnen kann, wobei diese Remanenz um so grösser ist, je grösser die Reibung zwischen m und U, oder je kleiner die entspannende Kraft von k. Um m wieder in seine alte Mittelstellung zurückzuführen, bedarf man einer in Richtung von O nach L, d. i. im Uhrzeigersinn gerichteten Kraft, deren Grösse gleichfalls von der Reibung zwischen m und U abhängt, und die in demselben Masse bis zur Erreichung der Mittellage von m wachsen muss, als der mit ihr im gleichen Sinn wirkende Rest elastischer Spannkraft von k abnimmt. Die Grösse dieser Kraft, welche gerade ausreicht um m völlig in seine alte Mittelstellung „zurückzu-

Digitized by Google

zwingen", und welche man bei abermaliger Bevorzugung des Lateinischen als „Coërcitivkraft" bezeichnen kann, gibt ein Mass für die zwischen m und U vorhandene Reibungsgrösse, und diese als passive Kraft erscheinende Reibungsgrösse wird proportional sein dem Reibungskoëffizienten.

15. Trägt man das von aussen wirkende Drehmoment D als Abscisse, die von der Achse WW auf der Unterlage U eingenommenen Lagen bezw. ihre mit α proportionalen Abweichungen A aus der Mittellage O als Ordinaten auf und zwar z. B. alle von O nach P gerichteten als positiv, alle nach L gerichteten als negativ (vergl. Fig. 7), so erhielte man von O als Mittellage ausgehend zunächst einen durch die Reibung zwischen m und U bedingten (gegen die Ordinatenachse konkaven) Verlauf der Kurve, hierauf wird dieselbe so lange angenähert geradlinig verlaufen, als die Dehnung der von der Kraft D gespannten Faden K direkt proportional mit dem wachsenden α bezw. A zunimmt; würde dieselbe bei weiterer Abweichung von der Mittellage rascher erfolgen, so würde die Kurve, welche ja den Zusammenhang der erforderlichen Grösse von D und jener Abweichung A darstellt, eine gegen die Abscissenachse konkave Umbiegung erfahren oder ein Knie aufweisen, um später wieder nahezu geradlinig zu verlaufen. Nimmt hierauf die Kraft D nach Erreichung eines Maximums wieder ab, zunächst bis auf Null, so wird nach den obigen Betrachtungen m gegenüber den entsprechenden Lagen bei zunehmender Kraft „zurückbleiben", d. h. die absteigende Kurve G R wird oberhalb der soeben erhaltenen Kurve O G liegen, und die Strecke O R wird ein Mass für die „Remanenz" oder das Zurückbleiben von m hinter der Mittelstellung abgeben, wenn die äussere Kraft D zu wirken aufgehört hat. Kehrt jetzt Kraft D ihre Richtung um und wirkt von O nach L, d. i. im Uhrzeigersinn, so wird sie m, zunächst in Gemeinschaft mit dem noch vorhandenen Spannungsrest von k, in die Mittelstellung, d. h. $A = 0$ zurückführen, in welchem Punkt jene Spannung von k auch auf Null abgenommen hat, so dass die Coërcitivkraft durch die Strecke $-D = OC$ dargestellt wird. Bei weiterem Wachsen von $-D$

Fig. 7.



muss wiederum die Spannung von k überwunden werden, und die Elongation von m nach L, also — A, wird etwa durch die Kurve C G′ dargestellt werden. Es ist nun ohne Schwierigkeit zu verfolgen, dass bei abermaliger Abnahme von — D bis auf Null und hierauf folgendem Wechsel der Richtung und Anwachsen von + D bis zum früheren Maximalwert die durchlaufene Kurve für die Elongation A als Funktion von D durch die rechts von O und zu jener symmetrisch verlaufende Kurve G′ G dargestellt wird. Bei periodischem Verlauf der am Umfang von m anfassend gedachten Kraft D, wie sie etwa durch eine dem Sinusgesetz folgende kreuzkopfartige Bewegung des Angriffpunktes bei gleichförmigem Kurbelantrieb mechanisch herbeizuführen wäre, wird also jene geschlossene Kurve G R C G′ R′ C′ G in dieser Reihenfolge innerhalb jeder Periode von D, entsprechend einer ganzen Umdrehung des antreibenden Kurbelmechanismus, einmal durchlaufen.

Die Bedeutung der von jedem solchen cyklischen Kreisprozess eingeschlossenen Fläche ist unschwer als die während jeder Periode geleistete und in Wärme umgesetzte Reibungsarbeit zu erkennen, da jedes Flächenelement, z. B. der parallel zur Abscissenachse herausgeschnittene Elementarstreifen f . d A, das Produkt von Kraft × Wegelement darstellt. Die ganze Fläche $\int_{-A}^{+A} f \,.\, dA$, worin die Kraftdifferenz f, ebenso wie vorher die Kurve O G der erforderlichen Kraft D, eine empirische Funktion derselben Weglänge A ist, stellt also diejenige Arbeit bezw. denjenigen Teil der zeitweilig potentiell als Fadenspannung vorhandenen Energie dar, welche bezw. welcher von der elastischen Spannkraft der Fäden nicht an die auf m wirkende mechanische, periodische Antriebsquelle wieder zurückgeliefert, sondern durch die Reibung zwischen m und U in Wärme umgesetzt wurde.

Da dieses Arbeitsquantum ebenso wie die oben besprochene Erscheinung des nicht nur zeitlichen, sondern beliebig lange bestehen bleibenden Zurückbleibens der Elongation A von m (als Wirkung) hinter der jeweiligen wirkenden Kraft D (als Ursache) durch das Vorhandensein der Reibung zwischen m und U bedingt wird, so kann man auch jene beiden Wirkungen derselben Reibungsursache miteinander in Verbindung setzen und jene durch die Fläche dargestellte Energiemenge als Zurückbleibungsarbeit oder, wiederum unter Bevorzugung eines (griechischen) Fremdwortes, als Hysteresisarbeit[1]) be-

[1]) Am besten würde hiefür wohl die Bezeichnung „magnetische Reibungsarbeit“ passen.

Digitized by Google

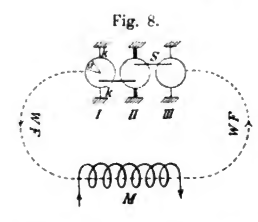
zeichnen. Diese jedem Techniker unschwer verständlichen mechanischen Erscheinungen, welche sich durchweg als einfache Folgerungen aus dem Vorhandensein einer Reibung zwischen m und U in Verbindung mit den geweckten Elastizitätskräften von k ergeben, braucht man jetzt nur mit gedanklich leicht auszuführenden Abänderungen auf die magnetischen Erscheinungen zu übertragen, um den Zusammenhang aller Grössen, welche bei den magnetischen Erscheinungen und namentlich bei der Remanenz und Hysteresis ins Spiel kommen, vor Augen zu haben. Man kann also jenes einfache Einzelmodell gleichsam als molekularmagnetischen Baustein auffassen und aus ihm folgende Hauptbegriffe ableiten: Das Verhältnis $\frac{\text{Ablenkung}}{\text{äussere Richtkraft}}$ $\left(\text{nach Fig. } \frac{A}{D}\right)$ stellt magnetisch die sogenannte Durchlässigkeit oder Permeabilität μ dar; die nach Aufhören bestehen bleibende Ablenkung $A = OR$ entspricht der Remanenz, die erforderliche entgegengesetzte Kraft $-D = OC$ der Coërcitivkraft und endlich die bei jedem Bewegungscyklus nötige Reibungsarbeit dem Hysteresisverlust.

16. Es ist jedoch bei jedem elektromagnetischen Vorgang zu berücksichtigen, dass das Einzelmolekül nicht unabhängig ist von den übrigen Molekülen des Wirbelfadens, sondern, wie bereits früher (vergl. § 9 und Fig. 3) angegeben, mit ihnen gleichsam in zwangläufiger Verbindung steht, insofern der Richtungsantrieb sich nicht nur auf die seitlichen Nachbarwirbel, sondern ebenso auf den Vorder- und Hintermann erstreckt, so dass in dieser Beziehung der magnetische Ausgleichsvorgang ebenso wie der elektrische die Kreislaufnatur aufweist, d. h. auf Grund der Inkompressibilität der Friktionsmoleküle kann irgend ein Ausgleich, sei er nun dynamisch oder statisch, elektrisch oder elektromagnetisch, n i e in ungeschlossener Bahn erfolgen, stets müssen vielmehr die Ausgleichsbahnen wieder nach dem Ausgangspunkt zurückleiten, wie bei einem in sich geschlossenen Geleise ohne Ende. Dies gilt in gleicher Weise für die Stromfäden beim dynamischen Ausgleich wie bei den elektrostatischen Verschiebungsbahnen und den magnetischen Wirbelfäden bezw. Kraftlinien, welche letzteren die g e m e i n s c h a f t l i c h e n Richtungskomponenten angeben, die den Wirbeln der Leiterumgebung durch den Antrieb des im Leiter fliessenden Stromes erteilt werden. Die aus dieser Kreislaufnatur des Bewegungsvorganges sich ergebenden Folgerungen sind gleichfalls allen diesen Ausgleichsformen gemeinsam. Denken wir uns einen solchen in sich perlenschnurartig geschlossenen

Digitized by Google

Wirbelfaden (WF der Fig. 8), welcher zunächst einem homogenen Kreislauf, z. B. einem magnetisch geschlossenen Transformator angehören möge, herausgeschnitten, und es sei die Art des zwangläufigen Zusammenhanges zwischen den einzelnen Wirbeln I, II, III u. s. w. recht augenfällig durch ein starres Verbindungsglied etwa in Gestalt der Lenkstange S versinnbildlicht.

Fig. 8.



Der von einer bestimmten Stelle ausgehende Richtungsantrieb M — in der Fig. 8 durch die Spule angedeutet — muss an allen Stellen des Wirbelfadens den gleichen Drehungsbetrag α bewirken und wird sich im vorliegenden Fall der gleichen Dehnbarkeit aller Fäden k (gleicher Permeabilität μ), sonach gleichmässig auf die einzelnen Wegstrecken verteilen. Der Widerstand des Wirbelfadens gegen das Gerichtetwerden, d. i. der magnetische Widerstand wird sonach einerseits proportional mit $\frac{1}{\mu}$, andererseits direkt proportional mit der Länge l des Wirbelfadens wachsen. Will man nun ebenso wie beim Ohmschen Gesetz für den elektrischen Kreislauf, auch hier für den magnetischen Kreislauf den Zusammenhang zwischen der in Windungsampère gemessenen M M K — hier mit M bezeichnet — und der gesamten Kraftlinienzahl N in jedem vollen Kreislaufquerschnitt aufstellen, so muss berücksichtigt werden, dass M ebenso wie E (vergl. § 8) keine Flächenkraft, sondern wie der Atmosphärendruck eine bezüglich des Querschnitts spezifische Grösse ist, und ebenso wie die Windungsampère unabhängig vom Querschnitt gemessen wird. Für diesen Zusammenhang von M und dem der Stromstärke J analog gefassten N muss sonach auch der magnetische Widerstand $W_m = \frac{l}{q \cdot \mu}$ die dem Ohmschen Widerstand analoge Fassung annehmen (vergl. hiezu ferner unter § 30). Die Beziehung $N = \frac{M}{W_m}$ wird in ihrer Allgemeinheit aber nach dem Modell auch dann noch gelten müssen, wenn der Weg von WF durch magnetisch verschiedenartiges Material verläuft. Der Eisenkreislauf erleide z. B. bei II eine Unterbrechung, so dass II die Moleküle eines Luftschlitzes repräsentiert: nach der obigen Auffassung wird sich die viel kleinere Permeabilität μ dieser Strecke gegenüber dem übrigen Kreislauf darin aussprechen, dass die Fäden k von II viel weniger

Digitized by Google

dehnbar sind als die von I und III, sowie aller übrigen Moleküle von W F. Da aber auf Grund der starren Verbindung S dieselbe mit der Drehung um α verbundene Dehnung der Fäden von II statthaben muss, so muss ein entsprechend grosser Teil der gesamten vorhandenen Antriebskraft auf Molekül II entfallen, d. h. die M M K muss sich proportional den magnetischen Widerständen der vorhandenen Teilstrecken auf diese verteilen, oder anders ausgedrückt: das magnetische Potentialgefälle wird sich über die Weglänge des Kreislaufes ungleichförmig verteilen und zwar entsprechend den elastischen (Faden-) Widerständen der Teilstrecken. Bei Querschnittsänderungen des Kreislaufweges braucht alsdann nur noch berücksichtigt zu werden, inwieweit die spezifischen oder die gesamten Grössen für Ausgleich, Widerstand und Antriebskraft in Frage kommen, bezw. wie die letzteren definiert werden (vergl. hiezu auch § 17 und 30).

17. Wesentlich beeinflusst wird die Erscheinung der Remanenz durch Zusammensetzung eines Kreislaufes aus zwei derartig verschieden magnetischen Materialien, z. B. Eisen und Luft, eine Abhängigkeit, welche sich ihrem Wesen nach mit Hilfe des obigen Modells (Fig. 8) und der angeschlossenen Betrachtungen erklären lässt. Den Grund für jenen Einfluss bildet der schon erwähnte Umstand, dass alle unmagnetischen Materialien keine merkliche magnetische Reibung besitzen, weshalb auch bei ihnen die daraus resultirenden magnetischen Erscheinungen, wie Remanenz und Hysteresis, in Wegfall kommen. Nach Aufhören der M M K werden zunächst, wie oben (Fig. 6) am Einzelmodell gezeigt, alle Eisenmoleküle ein der Spannung von k entsprechendes Bestreben zeigen, in ihre ursprüngliche Lage zurückzukehren, was auch erfolgt bis die Reibung Halt gebietet. Das Verhältnis der Reibungskräfte R aller Einzelmoleküle zu den Spannungskräften S aller elastischen Fäden wird also die mögliche Grösse der Remanenz erkennen lassen, da für einen ruhenden Gleichgewichtszustand $\frac{R}{S}$ nie kleiner als die Einheit sein kann. Wird nun ein Teil des Kreislaufweges durch Luft gebildet, so ist nach dem Obigen leicht zu übersehen, dass dieses Verhältnis $\frac{R}{S}$ immer kleiner werden müsste, je grösser der magnetische Luftwiderstand gegenüber demjenigen des Eisenweges wird; denn behält letzterer absolut dieselbe Länge, so dass R konstant bleibt, so wird doch bereits ein kleiner Luftschlitz eine ausserordentliche Vergrösserung des Nenners S ohne jede Vergrösserung von R verursachen, da der Wert von S bei einer

Digitized by Google

Luftschicht häufig dieselbe Grösse wie eine 1000- bis 2000mal so dicke Eisenstrecke aufweisen wird. Der sogenannte entmagnetisierende Einfluss der Enden, oder richtiger der eingeschalteten Luftstrecke, wird also proportional mit S zunehmen, eine Thatsache, die gleichfalls durch das Modell völlig erklärlich wird. Zu beachten ist jedoch, dass im allgemeinen nicht das Verhältnis der Weglängen, sondern dasjenige der magnetischen Widerstände beider Teilstrecken massgebend ist, indem die Weglängen nur so lange das Verhältnis der Gesamtwiderstände angeben, als keine Querschnittsänderung des Kreislaufweges eintritt. Eine Querschnittsvergrösserung verkleinert ebenso wie bei elektrischen Ausgleichsvorgängen den bei beiden in analoger Weise (vergl. § 8 bezw. 16) definierten Gesamtwiderstand W_m eines Ausgleichsweges, woraus sich unter anderem erklärt, warum bei geraden Eisenstäben der Luftwiderstand relativ immer mehr abnimmt, je länger die Eisenstäbe bei gleichem Querschnitt werden, oder je grösser allgemein das Verhältnis m von Länge : Querschnittdurchmesser ist, so dass bei wachsenden Werten von m die Verhältnisse immer näher denjenigen eines geschlossenen Eisenkreislaufes und damit die entmagnetisierenden Kräfte immer kleiner werden; das Verhältnis

$$\frac{\text{magnetischer Widerstand des Eisenweges}}{\text{magnetischer Widerstand des Luftweges}}$$

nimmt nämlich in angenähert gleicher Weise wie m zu.

Alle diese Betrachtungen machen die Abhängigkeit der Remanenz nicht nur von der Eisensorte, sondern auch von der Zusammensetzung des magnetischen Kreislaufes B aus Eisen- und Luftstrecken erklärlich. Ebenso wie aber bei den Modellen (Fig. 6 und 8) so wird auch bei den magnetischen Vorgängen nur der Wert der Remanenz (O R der Fig. 7) beeinflusst, nicht aber der Wert der bei jedem Cyklus in Reibung umgesetzten Arbeit, mit anderen Worten: jene Hysteresisfläche G R C G′ R′ C′ G erleidet je nach der Grösse des im Kreislauf vorhandenen Luftwiderstandes eine mehr oder weniger grosse „Scherung“, ihr Flächeninhalt bleibt aber der gleiche.

18. Diese den Thatsachen entsprechende Scherungsfähigkeit der Hysteresiskurve lässt jetzt auch die gegenseitige Stellung von Remanenz und Hysteresis deutlich erkennen: beide Grössen sind zunächst, wenn auch in ganz verschiedener Weise, von der Elongation A bezw. α (magnetisch durch eine Potenz der spezifischen Induktion B in Kraftlinien auf den Quadratcentimeter angegeben) abhängig; legt man jedoch

Digitized by Google

fürs erste stets denselben Wert von A bezw. B zu Grunde, so ist der Flächeninhalt der Hysteresisschleifen nur von einer Materialkonstanten h abhängig und mit ihr direkt proportional. Bei dem mechanischen Einzelmodell kann man nämlich die während eines solchen Hin- und Herganges (Vollschwingung zwischen beliebigen Grenzen A_1 und A_2) geleistete Reibungsarbeit U_1 durch eine Gleichung

$$U_1 = h \cdot \left(\frac{A_1 - A_2}{2}\right)$$

ausdrücken.

Hierin bedeutet h die von dem konstant gedachten Reibungskoëffizienten zwischen m und der Unterlage abhängige Konstante, welche sich aus der obigen Gleichung als die Reibungsarbeit zwischen den Elongationsgrenzen $\left(\frac{A_1 - A_2}{2}\right) = 1$, z. B. in Centimeter gemessen, definiert. Bei symmetrisch zum Nullpunkt O gelegenen Verschiebungsgrenzen geht $\left(\frac{A_1 - A_2}{2}\right)$ in $A = 1$ über. Die Grösse der Remanenz, welche durch Strecke O R in Fig. 7 dargestellt wird, ist aber, wie leicht ersichtlich, bei demselben Material ausserdem von der Lage der Hysteresisfläche gegenüber den Koordinatenachsen abhängig; also je stärker jene — durch Einschalten von Luftwiderstand in den Kreislauf — geschert, d. h. in der oberen Hälfte von links nach rechts, in der unteren von rechts nach links verdrückt wird, um so näher werden die Punkte R und R′ an O heranrücken, und um so kleiner wird daher die Remanenz werden. Umgekehrt wird die Remanenz natürlich um so grösser, je geschlossener der Eisenkreislauf ist, ein Umstand, welcher für alle sogenannten permanenten Magnete, deren Magnetismus nur auf Remanenz beruht, von Bedeutung ist (vergleiche § 19).

Die wirklich auftretende Remanenz ist demnach eine Mischerscheinung, welche ausser vom Material und bis zu einem gewissen Grade von der vorausgegangenen maximalen Elongation der Einzelmoleküle noch im hohen Grade von der Zusammensetzung des magnetischen Kreislaufes abhängt. Der Hysteresiskoëffizient h aber ist eine reine Materialgrösse und entspricht der Reibungsarbeit zwischen Eisenmolekül und seiner Umgebung bei einem Cyklus innerhalb der magnetischen Verschiebungs*einheit*; sie wird praktisch auf die Volumeneinheit von 1 ccm bezogen, da man mit der Molekülanzahl nicht direkt rechnen kann. Wird die magnetische Verschiebung B in Kraftlinien auf den Quadratcentimeter gemessen, so ist nicht B, sondern

Digitized by Google

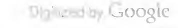
nach den Untersuchungen von Steinmetz[1]) eine höhere und nahe bei 1,6 liegende Potenz von B der mechanischen Verschiebung A entsprechend, so dass man die in jedem Cyklus und jedem Kubikcentimeter geleistete magnetische Reibungsarbeit U_1 erhält: $U_1 = h \cdot B^{1,6}$, worin B der in jedem Cyklus erreichte Maximalwert der spezifischen Eiseninduktion (in Kraftlinien auf den Quadratcentimeter) ist. Bei periodischem Wechselstrom von z sekundlichen Wechseln $\left(\frac{z}{2}\text{ Perioden}\right)$ wäre also die in V ccm geleistete sekundliche Reibungsarbeit P oder die in Wärme umgesetzte Leistung

$$P = V \cdot \frac{z}{2} \cdot h \cdot B^{1,6}.$$

Der Einfluss, welchen die durch irgend ein Mittel (Hämmern, Ausglühen, plötzliche Stromunterbrechung) bewirkte molekulare Erschütterung auf jene beiden magnetischen Reibungserscheinungen ausüben wird, lässt sich gleichfalls am mechanischen Modell deutlich verfolgen. Eine bei diesem vorgenommene mechanische Erschütterung wird eine momentane, teilweise oder auch völlige Aufhebung der passiven Reibungskräfte zwischem m und der Unterlage (Fig. 6) zur Folge haben, so dass in jenen Momenten die noch vorhandene und vorher durch die Reibung kompensierte Richtkraft der gespannten Fäden k_1 und k_2 zur Wirkung gelangen kann. Augenscheinlich wird hiedurch bei nicht vorhandener äusserer aktiver Kraft die vorhandene Remanenz eine mehr oder weniger grosse Minderung, unter Umständen bis zum Verschwinden, erfahren. Umgekehrt wird bei einseitig wirkender äusserer Kraft die Elongation, namentlich bei höheren Werten von h, eine Vergrösserung erfahren, und bei cyklisch wirkender Kraft endlich wird wiederum eine Verminderung der Reibungsarbeit U in jedem Cyklus die Folge sein. Genau die gleichen Erscheinungen treten nun auch magnetisch auf, wenn eine molekulare Erschütterung herbeigeführt wird. So wird z. B. durch mässige Erwärmung, welche einer dauernden Erschütterung entspricht, die Permeabilität von Stahlsorten vergrössert, die Remanenz und die Hysteresisarbeit für sonst gleiche Verhältnisse vermindert u. s. f.

19. Bei der Verwendung von Eisen für elektrotechnische Zwecke wird in den meisten Fällen, z. B. für Transformatoren- und Dynamo-

[1]) Ueber die Beschränkung der Giltigkeit dieser Formel, bezw. der Konstanz des daraus ermittelten Hysteresiskoëffizienten vergl. „Elektrotechn. Zeitschrift“ 1897. S. 276 (Mitteilung aus der Phys. Techn. Reichsanstalt).


Digitized by Google

bleche, sowie für den jetzt meist bei Dynamogestellen verwendeten Stahlguss möglichst kleine Hysteresis, also kleiner Wert von h angestrebt, um die Verluste durch Hysteresisarbeit möglichst herunterzudrücken.

Im Gegensatz hiezu steht die Herstellung permanenter Magnete, bei welchen die gewünschte Dauerhaftigkeit und Stärke ihrer Remanenz einer möglichst kräftigen magnetischen Molekularreibung, d. h. eines hohen Wertes von h bedürfen; es sei nebenbei bemerkt, dass hiefür namentlich der Zusatz von Wolfram (Tungstein) günstig ist, wodurch die bisher höchsten Werte erreicht wurden (bei sehr hartem Wolframstahl der Bergischen A.-G. Remscheidt [1]) die Coërcitivintensität von 77 C-G-S-Einheiten bei einem Wert für die Hysteresisarbeit U_1 von 275000 Erg, während die remanente Magnetisierung $J = 800$ bezw. die spezifische Induktion $B = 4 \pi J \backsim 10000$ Kraftlinien auf den Quadratcentimeter betrug; letztere Werte sind auf geschlossenen Eisenkreis bezogen, da nach den obigen Betrachtungen über Remanenz nur so ein vergleichbarer eindeutiger Wert anzugeben ist). Obwohl weiches Material bei geschlossenem Eisenweg bedeutend höhere Werte an remanenter Magnetisierung ermöglicht, so spielt für alle Magnete, bei welchen es auf eine grosse Dauerhaftigkeit der Magnetisierung und besonders auf eine grosse Konstanz der von ihnen erzeugten magnetischen Felder bei unvollständigem Eisenkreis ankommt, dieser Maximalwert keine wesentliche Rolle (vergl. Fig. 9). Hier wird man sich stets mit weit geringerer als der sehr labilen maximalen Remanenz begnügen und vielmehr bei kleinerem Wert derselben eine möglichst hohe Sicherheit gegen etwaige entmagnetisierende Einflüsse, wie Erschütterungen, Temperaturwechsel und benachbarte elektrische Ströme anstreben, was durch sogenanntes künstliches Altern oder allgemein durch Aussetzen von passenden entmagnetisierenden Einflüssen nach stärkster Magnetisierung angestrebt wird. Hiebei ist eine möglichst hohe Coërcitivintensität die wertvollste Eigenschaft für wirklich zuverlässige permanente Magnete.

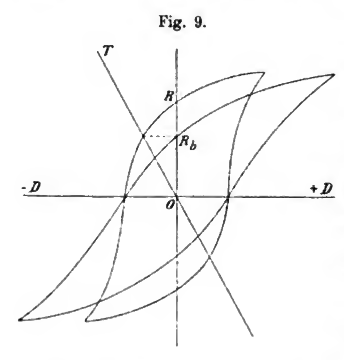
Um sich diese Verhältnisse wiederum anschaulich zu machen, braucht man nur abermals auf das Modell zurückzugreifen (vergl. oben bei Fig. 8). Ist der Reibungskoëffizient zwischen m und U sehr gross gewählt, so wird nach stärkster Ablenkung aus der Mittellage, d. h. Spannen von k bis nahe an die Grenze ihrer Dehnbarkeit, m sehr

[1]) Magnetisierung und Hysteresis einiger Eisen- und Stahlsorten von H. du Bois und E. Taylor Jones. „Elektrotechn. Zeitschrift" 1896, S. 545.

Digitized by Google

weit jenseits der Mittellage stehen bleiben, seine Remanenz O R also sehr gross und diejenige bestehen bleibende Fadenspannung S, welche der Magnetisierung J bezw. der spezifischen Induktion B entspricht (der Zusammenhang von S bezw. H mit B, oder beim Modell von D mit A ist durch die Magnetisierungskurve gegeben, vergl. O G der Fig. 7), von gleicher Grösse wie die Reibungskraft R zwischen m und U sein. Abgesehen von dem entmagnetisierenden, die Magnetisierungskurve und Hysteresisschleife scherenden Einfluss einer eingeschalteten Luftstrecke wäre dieser Zustand aber sehr labil, da bei jeder Erschütterung oder bei sonstigen entspannenden Kräften der Wert von R vorübergehend verkleinert und auch dementsprechend das vorhandene Feld bezw. S durch weiteres Heranziehen von m nach der Mittellage abnehmen würde (vergl. § 17). Um durch die Einwirkung solcher Einflüsse die angestrebte Konstanz von S bezw. H nicht gefährdet zu sehen, müsste man S absichtlich kleiner wählen, d. h. im Modell m näher an die Mittellage zurückführen und das Verhältnis $\frac{R}{S}$, besser $\frac{R_b}{S}$, würde man als „Sicherheitsfaktor“ gegen zufällige entspannende Einflüsse von aussen ansehen können. Man würde also durch diese künstliche Entmagnetisierung mit demjenigen Punkt (vergl. Fig. 9), welcher den noch verbleibenden Restmagnetismus charakterisiert, auf der Ordinatenachse abwärts steigen in die Hysteresisschleife hinein. Würde z. B. für eine bestimmte (reduzierte) Länge des Luftweges die Scherung der Hysteresisschleife gegenüber derjenigen bei geschlossenem Eisenweg durch die Scherungsgrade O T angegeben sein (vergl. Fig. 9), so dass der bleibende Restmagnetismus durch O R_b dargestellt wäre, so müsste der für den permanenten Magneten gewählte Spannungs- oder Zwangszustand so gewählt werden, dass er durch einen Punkt der Strecke O R_b dargestellt würde, dessen Abstand O S $<$ O R_b sein müsste. Der Grad der Sicherheit für die Permanenz würde sonach ge-

Fig. 9.



nauer durch die Grösse der entmagnetisierenden Kraft (— O D) gegeben sein, welche jenen Punkt durch Verlegen der Ordinate nach dieser Seite zuerst aus der Hysteresisschleife herausbringen würde, woraus sich die Wichtigkeit eines hohen Wertes von OC für diesen Zweck ergibt. Bei permanenten Magneten von erprobter Güte schwankt jener „Sicherheitsfaktor" $\frac{R}{S}$ der Entmagnetisierung [1]) (richtiger wohl der Magnetisierung) zwischen 3 und 6.

III. Die Verwendung mechanischer Hilfsvorstellungen bei komplizierteren elektromagnetischen Vorgängen.

20. Nachdem die unsichtbaren elektromagnetischen Grunderscheinungen, sowie die damit zusammenhängenden Begriffe durch die Anschaulichkeit der oben entwickelten modellartigen Vorstellungen der Auffassung näher gebracht sind, bietet es noch ein gewisses Interesse, zu sehen, ob dieselben auch für weiter gehende Anforderungen tauglich sind, insofern sie kompliziertere Vorgänge, wie sie praktisch durch die Mischung mehrerer dieser Grunderscheinungen häufig dargeboten werden, auch noch in befriedigender Weise der Anschauung zugänglich zu machen vermögen. Dieser Anforderung würde genügt sein, wenn die zur Veranschaulichung elektromagnetischer Elementarvorgänge dienenden einfacheren Mechanismen in geeigneter Weise zu einem complizierten Mechanismus zusammengesetzt werden können, und dieser so erhaltene Gesamtmechanismus wiederum Eigenschaften zeigt, welche im wesentlichen denen der elektromagnetischen Kombination analog sind. Lassen sich auf diese Weise an dem Mechanismus die durch die Kombination der Elemente neu hinzukommenden Eigentümlichkeiten mechanisch im voraus ableiten, so wird durch diesen Analogieschluss das Verständnis des unsichtbaren elektromagnetischen Zusammenhanges wesentlich erleichtert und dieser letztere der Auffassung jedes der mechanischen Gesetze Kundigen zugänglich gemacht werden können. Der Wert jener mechanischen Hilfsvorstellungen würde hiedurch offenbar vergrössert. Es soll daher im folgenden versucht werden, derartige kompliziertere Erscheinungen, wie sie namentlich die Wechselstromtechnik darbietet, durch analoge Mechanismen im wesentlichen gleichsam „abzubilden", um die Auffassung jener Erscheinungen zu erleichtern. In dieser Weise sollen später namentlich die Verhältnisse

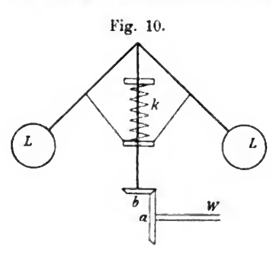
[1]) Vergl. „Elektrotechn. Zeitschrift" 1896, S. 545.


Digitized by Google

beim Wechselstromtransformator, sowie ferner die bei periodischem Wechselstrom möglichen Resonanzerscheinungen näher betrachtet werden. Vorher mögen jedoch als Ausgangspunkt einige einfachere Fälle wie Gleich- und Wechselstromkreise, einerseits bei metallisch geschlossener, andererseits bei unterbrochener Strombahn in dieser Weise betrachtet werden.

Die Betrachtungen in den §§ 8 und 9 haben bereits auseinandergesetzt, wie auf Grund der Maxwellschen Vorstellungen bei geschlossener metallischer Strombahn der Ausgleichsvorgang verläuft, wenn an irgend welcher Stelle eine als Elektrizitätspumpe wirkende E M K eingeschaltet ist. Ist jene konstant gedachte E M K eine Gleichstromquelle, so wird der ausserordentlich rasch erreichte stationäre Strömungzustand durch das Ohmsche Gesetz angegeben sein. Wegen der Reibung zwischen den im Leiter strömenden Friktionsmolekülen und seinen feststehenden Materiemolekülen wird jedoch ständig Reibungswärme erzeugt, d. h. elektrische Energie in Gestalt von Druckverlust in Stromwärme umgesetzt. Diese Umsetzung oder dieser Energie- bezw. Effektverlust infolge von Reibung ist nach mechanischer Analogie (Hydrodynamik) durch Druckverlust und Stromstärke bestimmt; oder da der Druckverlust nach dem Gesetz für stationäre Strömung = Stromstärke $\times$ Widerstand — letzterer im Ohmschen Sinne gefasst — ist, so folgt jener Verlust zu Widerstand $\times$ (Stromstärke)^2, wobei die Stromstärke der Ausgleichsgeschwindigkeit entspricht. Beim Entstehen der Strömung im Leiter wird aber nach § 9 auf alle Moleküle der Umgebung ein Richtungsantrieb ausgeübt, welcher, wie im § 14 näher ausgeführt, einen Spannungszustand hervorruft, und dieser dauert als erzeugtes Feld so lange wie jener Strömungszustand, um nach Aufhören der letzteren wieder einer mehr oder weniger völligen Entspannung zu weichen.

Fig. 10.



21. Um zunächst für diese Verhältnisse eine mechanische Analogie zu bekommen, denke man sich, wie in Fig. 10 schematisch skizziert, eine zentrifugalregulatorähnliche Vorrichtung, welche von einer rotierenden Welle W angetrieben wird. Je nach der Winkelgeschwindigkeit J der Welle W wird die mit der trägen Masse L versehene Schwungvorrichtung neben der Rotation und durch dieselbe eine

Digitized by Google

Zwangslage annehmen, die bereits durch die Erdschwere als ein Spannungszutand erscheint, die aber im Interesse der Lagenunabhängigkeit noch durch die Spannung der Feder k angedeutet sei. Der Mechanismus [1]) wird allgemein eine Analogie eines vom Gleichstrom durchflossenen Leiters oder im besonderen auch diejenige eines Gleichstromelektromagneten darstellen: Die bei der Rotation ständig umgesetzte und verlorene Reibungswärme, die je nach Einrichtung mehr gleitende oder mehr Luftreibung sein kann, wird der Stromwärme entsprechen; die Spannung bezw. die Durchbiegung von k in Verbindung mit der wirbelnden Masse L wird der Magnetisierung oder dem erzeugten Feld entsprechen, ferner wird bei konstantem Antrieb, d. i. konstanter MMK in Windungsampère das Verhältnis der beiden Faktoren: Windungszahl und Stromstärke durch die Uebersetzung $n = \frac{a}{b}$ und die Winkelgeschwindigkeit J der Welle W dargestellt sein; die in L aufgespeicherte lebendige Kraft wird die Selbstinduktion, die elastische Nachwirkung von k in Verbindung mit der etwaigen Reibung zwischen Schaft und Hubplatte das Analogon für die magnetischen Reibungserscheinungen bilden. Der einmalige bis zur Erreichung der stationären Maximalgeschwindigkeit erforderliche Aufwand an kinetischer Energie würde also der im magnetischen Felde aufgespeicherten elektromagnetischen Energie entsprechen. Die mechanischen Erscheinungen bei Inbetriebsetzung des Mechanismus werden also eine weitgehende und in allen wesentlichen Punkten befriedigende Analogie für die elektromagnetischen Vorgänge bei jedem Gleichstromelektromagnet abgeben, namentlich auch für die zum Wechselstrom hinüberleitenden Erscheinungen, wie sie beim Einleiten der Strombewegung und beim Aufhören derselben auftreten. Nimmt man z. B. entsprechend den elektrischen Verhältnissen beim Gleichstrom an, dass von einem bestimmten Moment an ein konstantes, der EMK entsprechendes Drehmoment E auf die Welle W wirkt, so wird die träge Masse L das Eintreten des stationären Zustandes zeitlich verzögern. Dieser stationäre Zustand wird durch die Rotationsgeschwindigkeit charakterisiert, welche wiederum mit der Gesamtreibung R durch das Gesetz

[1]) Es sei hier darauf hingewiesen, dass von Prof. L. Boltzmann ein vollkommenerer Mechanismus, ein sogenanntes Monocykel, zur Analogisierung der elektromagnetischen Vorgänge angegeben worden ist (vergl. seine Vorlesungen über Maxwells Theorie, Leipzig bei Ambrosius Barth). Derselbe ist jedoch etwas kompliziert und schwerer übersehbar, weshalb für den vorliegenden Zweck ein jedem Techniker geläufiger Mechanismus bevorzugt wurde.


Digitized by Google

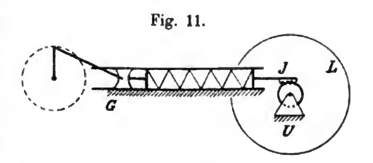
$J = \frac{E}{R}$ zusammenhängt, solange auch mechanisch der Bewegungswiderstand proportional der Geschwindigkeit zunimmt. Bei Unterbrechung des Antriebes E hingegen wird L das Aufhören der Geschwindigkeit verzögern, so dass auch hier wie beim elektrischen Gleichstrom die Geschwindigkeit bezw. Stromstärke J gegen den Antrieb bezw. EMK E stets zeitlich verschoben ist; nur gelangt diese in ganz ähnlicher Weise bei Wechselbewegung bezw. -Strom vorhandene Verschiebung beim Gleichstrom deshalb weniger zum Bewusstsein, weil sie nur sehr rasch vorübergehend ist und beim normalen stationären Zustand nicht zur Erscheinung gelangt, sondern latent ist. Findet nicht nur eine Unterbrechung des Antriebes E, sondern des ganzen Kreislaufes statt — beim Mechanismus würde dies einem plötzlichen Anhalten der Welle W entsprechen — so ist in beiden Fällen der Ruck um so grösser, je grösser J und L ist. Durch diesen mechanischen Ruck würde das Material ähnlich beansprucht werden — unter Umständen bis zum Bruch — wie durch den elektrischen Ruck die Leiterisolation. Einschalten eines Kondensators an der Unterbrechungsstelle würde demjenigen eines mechanischen Puffers entsprechen.

22. Um regelmässige Stromänderungen nachzuahmen, könnte man zwar einen entsprechend ungleichförmigen Antrieb der Zentrifugalvorrichtung wählen, doch werden für periodischen Wechselstrom die Verhältnisse einfacher und besser übersehbar, namentlich hinsichtlich der späteren Erweiterung auf den Transformator, wenn man von jener Vorrichtung ganz absieht und sich die periodische Bewegung um eine Mittellage durch einen kreuzkopfartig hin- und herbewegten Angriffspunkt ausgeführt denkt. Nur muss man hier streng zwischen dem periodischen Verlauf der Druckgrösse und demjenigen des Ausgleiches, d. i. der Geschwindigkeit bezw. Stromstärke unterscheiden. Um einen den elektrischen Verhältnissen entsprechenden Mechanismus zu haben, müssten beide Grössen nahezu unabhängig voneinander sein, so zwar, dass z. B. die Druckgrösse entsprechend der Spannung eines Wechselstromgenerators nahezu konstant gehalten werden kann, während die dadurch erzielte Verschiebung bezw. Geschwindigkeit von Null bis zu einem der Maximalbelastung entsprechenden Wert variiert. Mechanisch bietet dies einige Schwierigkeit. Auf einfachere Weise ist es noch am ehesten erhältlich, wenn man sich mittels Kurbel und Pleuelstange eine so gewählte Feder F — hiefür könnte auch ein zwischen zwei gedichteten Kolben in einen Cylinder eingeschlossenes elastisches

Digitized by Google

Medium, u. a. auch Luft, treten, wie in Fig. 11 angedeutet — angetrieben denkt, dass ihre Elongation bezw. Längenänderung stets gross bleibt gegenüber der hervorgerufenen Verschiebung des anderen Endes, welche ja der Bewegung der elektrischen Friktionsmoleküle oder der Stromstärke J entspricht. Unter diesen wahrscheinlich auch bei allen elektrischen Bewegungen vorliegenden Verhältnissen, dass für eine bestimmte Leistung die Verschiebung relativ klein, die Drucke und Widerstandskräfte relativ sehr gross sind, wird bei dem in Fig. 11 angedeuteten Antrieb der an der Endplatte ausgeübte Druck E stets sehr nahe dem Sinusgesetz folgen und in seinem Maximal- bezw. Mittelwert so lange nahezu gleich gross bleiben, als die durch den Druck erzeugte Verschiebung sich im Vergleich zur Durchbiegung von F in engen Grenzen hält, welche aber trotzdem grossen elektrischen Stromstärken entsprechen können. Die noch verbleibende kleine Rückwirkung bei zunehmendem J, welche sich als Druckabfall (Verkleinerung von E) äussert, könnte in gewisser Hinsicht als Analogie für die Ankerreaktion gedeutet werden. Solange der periodische Druck am Federende nur, oder wenigstens ganz überwiegend Reibungswiderstand zu überwinden hat, wird die Verschiebung, bezw. Geschwindigkeit J mit dem Druck in der Phase übereinstimmen. Sobald aber mit J die Bewegung relativ grosser Trägheitsmassen verbunden ist, welche beim Mechanismus durch die Schwungmassen L mit räumlich bei U feststehender Achse dargestellt sind, so wird wie im vorausgegangenen Falle ein Nachhinken von J gegenüber dem Antrieb E eintreten. (Dass man sich die antreibende Zahnstange beliebig lang oder auch als geschlossenes Zahnrad vorstellen kann, ist selbstverständlich, aber im vorliegenden Fall unnötig. Durch eine weitere Komplizierung der Modelle würde sich die Analogie leicht noch etwas vervollkommnen lassen, indem man etwa die Schwungmasse L durch einen Zentrifugalmechanismus z. B. wie in Fig. 10 ersetzt, um die Veränderung von μ darzustellen; ebenso liesse sich das nach Fig. 11 vorhandene einseitige Drehmoment der Zahnstange durch Verteilung von L auf beide Seiten vermeiden, doch ist im Interesse leichterer Uebersehbarkeit von all diesen Komplizierungen abgesehen.) Da die jeweilige Momentangeschwindigkeit i des Angriffspunktes der Zahn-

Fig. 11.



Digitized by Google

stange periodisch (z. B. nach dem Sinusgesetz) veränderlich sein wird, so stellt das Produkt aus i und dem Zeitdifferential dt eine von ihm zurückgelegte Wegstrecke dar: Hienach wird das Integral über die halbe Periodenzeit T, d. i. $\int_0^{\frac{T}{2}} i \, . \, dt$ die Schwingungsweite ergeben, und die Multiplikation dieser Elongation mit der Wechselzahl $\left(z = \frac{2}{T}\right)$ die mittlere Geschwindigkeit, entsprechend dem galvanometrischen (voltametrischen) Mittelwert der Wechselstromintensität.

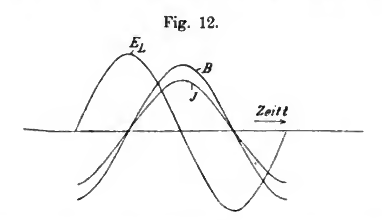
Neben den in derselben Weise wie beim Gleichstrom vorhandenen und durch den Mechanismus für den vorliegenden Zweck der beschränkten einseitigen Bewegung hinreichend wiedergegebenen Erscheinungen treten aber beim periodischen Wechselstrom eine Reihe charakteristischer Erscheinungen hinzu, welche am Modell gleichfalls ihre Analogie erheischen. Dies sind hier zunächst einerseits die Dauerwirkung der elektromagnetischen Trägheit oder Selbstinduktion, andererseits die unter II betrachteten magnetischen Eigentümlichkeiten bei Gegenwart von Eisen bezw. Eisenarten, welche praktisch ja nur in Frage kommen. Die fortwährend erforderliche Bewegungsänderung der Schwungmasse mit dem Trägheitsmoment L, welches die Analogie für den Selbstinduktionskoëffizienten abgibt, bewirkt eine bedeutende dauernde Vergrösserung des Ausgleichswiderstandes gegenüber dem Reibungswiderstand. Da hier wie im vorigen Fall die in jedem Moment vorhandene Geschwindigkeit i des Angriffspunktes der jeweiligen Stromstärke entspricht, so werden die Maximalwerte J_{max} bezw. die hiezu in einem bestimmten Verhältnis stehenden Mittelwerte beider auch einander entsprechen. Somit lässt die mechanische Analogie erkennen, dass für eine bestimmte, durch die Schwingungsweite $\times$ Wechselzahl, d. i. die mittlere Geschwindigkeit des Angriffspunktes, angegebene mittlere Stromstärke eine entsprechende Vergrösserung der mittleren Druckgrösse E am Federende bezw. der mittleren Spannungsdifferenz des Wechselstromes erforderlich wird; oder für eine bestimmte Maximal- bezw. Mittelgrösse der letzteren eine entsprechende Verkleinerung der in der Zeiteinheit vom Angriffspunkte zurückgelegten Wegstrecke bezw. der analogen elektrischen Stromstärke.

Nun ist es ferner, wie schon oben angegeben, die Eigentümlichkeit jedes Trägheitswiderstandes ein Nachhinken der Wirkung hinter der Ursache, d. h. hier der Geschwindigkeit hinter dem Antrieb zu veranlassen, was bei periodischer Wechselbewegung bewirken muss, dass

Digitized by Google

das Maximum der Ausgleichsgeschwindigkeit zeitlich gegen das Maximum des Antriebes verzögert ist oder, elektrotechnisch ausgedrückt: die Phase des Stromes um einen bestimmten, gewöhnlich in Graden angegebenen Betrag der Wechselzeit gegen die Phase der EMK verschoben ist. Bei reinem Trägheitswiderstand würde diese Verschiebung genau eine Viertelperiode oder eine halbe Wellenlänge betragen, da nach den Sätzen der Mechanik die zur Ueberwindung des Trägheitswiderstandes erforderliche Kraft (E_L) proportional der Geschwindigkeitsänderung $\frac{dJ}{dt}$ (vergl. § 10 am Ende) ist. Bei Geschwindigkeitsänderung nach der Sinuswelle gibt dies den Wert $E = 0$ bei $J = J_{max}$, und $E = E_{max}$ bei $J = 0$. Infolge der Verkettung der Geschwindigkeit J (der Zahnstange bezw. der im Leiter strömenden Friktionsmoleküle) mit dem Bewegungszustande der mitbewegten Massen (L bezw. die magnetischen Wirbel des Feldes) wird der zeitliche Verlauf der Grösse von J und der des Wertes B, welcher jenen Zustand an einer bestimmten Stelle ausdrücken möge, im allgemeinen zusammenfallen, so dass bei graphischer Auftragung in rechtwinkligen Koordinaten mit

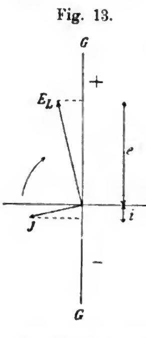
Fig. 12.



der fortlaufenden Zeit t als Abszisse, der Grössen E_L und J bezw. B als Ordinaten sich die gegenseitige zeitliche Stellung der Kurven wie in Fig. 12 darstellt. Elektrotechnisch heisst dies: Entsprechende Werte, z. B. Maximalwerte von Wechselstrom J und magnetischem Wechselfeld B sind gegenüber der zur Ueberwindung des elektromagnetischen Trägheitswiderstandes erforderlichen Komponente E_L der Wechsel-EMK in der Phase um 90° verzögert. Bei graphischer Darstellung im Polardiagramm (Fig. 13), welches die jeweiligen momentanen Grössen e bezw. i durch Projektion jedes Vektors auf eine feststehende Achse GG ergibt, würde also der Zusammenhang von Kreuzkopfantrieb E und der Geschwindigheit J bezw. der analogen elektrischen Grössen sich bei angenähert reinem Trägheitswiderstand durch den eine Viertel-

periode betragenden Abstand (E_L, J) darstellen, während bei vermischtem Widerstand (aus der hier beim Mechanismus am Kolben oder einer sonstigen Führung zu denkenden Reibung R und dem Trägheitswiderstand p . L) der durch den Verschiebungswinkel φ gemessene Abstand zwischen E und J je nach dem Mischungsverhältnis von R und p . L kleiner würde. Nach mechanischem Gesetz, welches in dem Falle dem Ohmschen Gesetz analog wird, dass die zur Ueberwindung des Reibungswiderstandes R erforderliche Spannungsdifferenz E_R direkt proportional mit J wächst, muss der Maximalwert von E_R mit demjenigen von J zusammenfallen, d. h. E_R genau in Phase mit J sein. Die Zusammensetzung der beiden Teilkräfte (E_L und E_R) zu einer einheitlichen Antriebskraft bezw. EMK E muss nach Vektorart in der in Fig. 14 angegebenen Weise erfolgen, woraus sich durch Abkürzung aller Werte mit J ohne weiteres das Widerstandsdiagramm ergibt, wonach der zu E gehörige einheitliche Wechsel- bezw. Wechselstrom-Widerstand zu

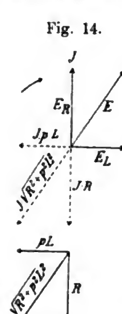
Fig. 13.



$$W = \sqrt{R^2 + (p\,L)^2}$$

folgt. Um Verwirrung bezüglich der Relativität der Phasen zu vermeiden und Vor- und Nacheilung nicht zu verwechseln, muss einmal der im Polardiagramm benutzte Drehsinn deutlich bezeichnet werden und ein zweites Mal streng zwischen den erforderlichen aktiven Kraftkomponenten des Antriebsmechanismus und den Gegenkräften (auch passive oder Widerstandskräfte genannt) unterschieden werden. In Fig. 14 sind die aktiven ausgezogen, die gerade entgegengesetzt gerichteten passiven strichliert angegeben und in die einzelnen Faktoren aufgelöst.

Fig. 14.



Das Nachhinken von J, d. h. das zeitweilige Rotieren von L nach entgegengesetzter Richtung wie die Kreuzkopfbewegung, würde natürlich eine zeitweilige zusätzliche Spannung von F bedingen und damit eine Aufspeicherung von kinetischer Energie in Form von potentieller Energie, welche beim Entspannen der Feder in einem anderen Teil der Bewegungsperiode dazu dient, die entgegengesetzte Bewegungsrichtung von L zu unterstützen, so dass das Hin- und Herpendeln von L, abgesehen von den Reibungs-

Digitized by Google

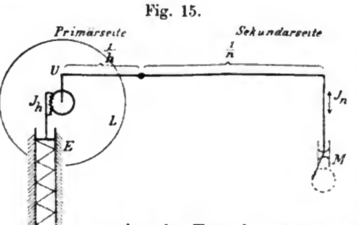
verlusten keine neue, von aussen zugeführte Energie bezw. Leistung benötigt, sondern sich nach einmaliger Einleitung der Bewegung überwiegend von selbst erhält. Von der Antriebsquelle ist sonach nur derjenige Effekt zu leisten, welcher durch Reibungsverluste in Wärme umgesetzt wird; wenn man sonach alle mit J proportionalen Reibungswiderstände mit R_e bezeichnet, so würde diese Leistung durch $J^2 . R_e$ (vergl. § 26 u. 30) bezw. unter Berücksichtigung der vorhergehenden Betrachtung zu Fig. 14 durch $E . J . \cos \varphi$ dargestellt sein. Diese den elektrischen analogen Erscheinungen würde sonach auch der Mechanismus aufweisen. Auch die magnetische Seite würde ihr befriedigendes Analogon finden: Der innerhalb jeder Periode durchlaufene elastische Kreisprozess des Mechanismus würde ebenso wie der magnetische (vergl. § 15 ff.) nicht die ganze beim Hingang hineingelegte Energie beim Rückgang wieder an den Antriebsmechanismus zurückliefern; vielmehr würde ein Teil am Umfang in Reibungswärme umgesetzt werden, entsprechend dem magnetischen Reibungs- oder Hysteresisverlust. Auch für die im Eisen mit der Blechdicke zunehmenden Wirbelströme könnte man als Analogon die Mangelhaftigkeit der Uebertragung des Antriebs von J auf L ansehen, insofern eine zunehmend mangelhafte Zwangläufigkeit den mit der Blechstärke zunehmenden Wirbelstromverlusten entsprechen würde, wodurch bedingt wird, dass der zur Felderzeugung benutzte Prozentsatz an Druck und Leistung immer mehr abnimmt.

23. Der Mechanismus zur Analogisierung der Erscheinungen beim Wechselstromelektromagnet mit einfacher Wicklung verlangt jetzt nur noch einen entsprechenden weiteren Ausbau, um den Wechselstromtransformator analogisieren zu können. Der letztere kann nämlich als ein mit zwei getrennten, jedoch durch die magnetischen Wirbelfäden verketteten Wicklungen versehener Wechselstromelektromagnet aufgefasst werden. Diese Erweiterung geschieht, indem man sich den in Fig. 11 dargestellten Mechanismus nicht bei U fest denkt, sondern wie in Fig. 15 an dem einen Arm des Doppelhebels angreifend, dessen anderer Arm bei seiner Bewegung irgend eine Reibungsarbeit direkt zu leisten, oder wiederum einen anderen Zwischenmechanismus, den man als Motor bezeichnen könnte, in Thätigkeit zu setzen hätte. Der ganze Mechanismus, welcher die Rolle des zwischen dem primären und vielleicht als Generator bezeichneten Antriebsmechanismus G und dem sekundären z. B. als Motor zu denkenden Aufnahms- oder Umsetzungsmechanismus M eingeschalteten Zwischengliedes zu spielen hätte, würde also etwa durch Fig. 15 dargestellt sein. Die gleichzeitige Aufgabe, das die Leistung darstellende Produkt $E . J . \cos \varphi$ aus Druck E, mittlerer Geschwindig-

Digitized by Google

keit J und der Phase, die hier zunächst übereinstimmend, d. h. $\cos \varphi = 1$ angenommen sei, in passender Weise umzuformen oder zu transformieren, würde dieses Zwischenglied in mechanischer Beziehung mit Hilfe der Hebelübersetzung $\frac{1}{h} : \frac{1}{n}$ gerade so leisten als ein mit den Wickelungszahlen h : n versehener Wechselstromtransformator. Dass unter der auch hier aufrecht zu erhaltenen Voraussetzung eines gegenüber den Kreuzkopfbewegungen stets kleinen J_h alle irgendwie wesentlichen Erscheinungen des Wechselstromtransformators ihre Analoga bei diesem Mechanismus finden, dürfte nach den vorausgegangenen Ausführungen unschwer zu überblicken sein. Ist zunächst der Transformator sekundär offen, d. h. der äussere Widerstand auf der Sekundärseite so gross, dass kein Ausgleich stattfinden kann, so ist zwar der sekundäre Druck E_2 im umgekehrten Verhältnis der Hebellängen reduziert vorhanden, d. h. $E_2 = E_1 \cdot \frac{n}{h}$, der Hebel aber praktisch feststehend und die Primärseite genau unter den gleichen Verhältnissen wie bei Fig. 11. Thatsächlich stellt ein einseitig offener Wechselstromtransformator auch einen einfachen Wechselstrommagnet dar, bei welchem gewöhnlich L sehr gross und deshalb bei konstantem E die erreichbare Geschwindigkeit und das damit proportionale J sehr klein ist, oder für ein bestimmtes J das erforderliche E gross.

Fig. 15.

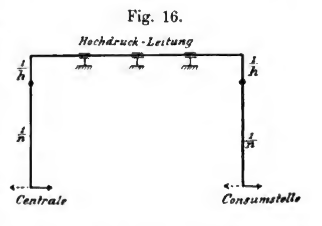


Wird jetzt die sekundäre Seite belastet, d. h. der Bewegungswiderstand auf derselben so weit verringert, dass ein Nachgeben des Hebels eintritt, so wird der Doppelhebel eine Wechselbewegung ausführen. Hiedurch wird J auf beiden Seiten zunehmen und zwar wird auf der Primärseite eine Uebereinanderlagerung zweier periodischer Bewegungen bezw. Geschwindigkeiten stattfinden. Setzt man für E einen praktisch konstanten Mittelwert voraus, so wird wie vorher J_L durch die pendelnde Rotation von L in Grösse und Phase bedingt sein. Unabhängig hievon wird aber der Druck E ein Hin- und Herschwingen des Doppelhebels veranlassen, dessen Schwingungsweg von Bewegungsverhältnissen der sekundären und in Fig. 15 als Niederdruckseite gekenn-

Digitized by Google

zeichneten Hebelseite abhängt. Besteht die von letzterer geleistete Arbeit überwiegend in der Ueberwindung von Reibungswiderständen, so wird entsprechend den vorausgegangenen Betrachtungen diese Teilkomponente J_R von J_h in Phase mit dem Druck E übereinstimmen. Die Zusammensetzung von J_L und J_R zu J_h erfolgt auch hier geradeso wie im vorhergehenden Fall diejenige von E_L und E_R zu E (vergl. Fig. 14). Die periodische Hebelbewegung wird sich also umsomehr dem Gleichtakte mit dem periodischen Verlauf des primären Druckes E, d. h. $\sphericalangle (E, J_n)$ dem Wert 180, nähern, je mehr Reibungarbeit $J^2 . R = \frac{E^2}{R}$ auf der Sekundärseite geleistet wird Es ist einleuchtend, dass wenn der Reibungswiderstand R auch hier in der dem Ohmschen Gesetz entsprechenden Fassung eingeführt wird, die Zunahme der Reibungsarbeit in der Zeiteinheit, bei konstantem Wert von E, eine Abnahme von R bedingt. Es ist ferner bei geistiger Inbetriebsetzung dieses Mechanismus und bei Kenntnis der mechanischen Gesetze sowohl die gegenseitige Verschiebung der Phasen der einzelnen periodischen Grössen leicht erkennbar, sowie auch das Verhältnis ihrer Maximal- bezw. Mittelwerte. Man erkennt z. B. sofort, dass das Verhältnis $J_h : J_n$ immer etwas grösser sein muss als das Hebellängenverhältnis n : h, wenigstens bei normaler Belastung. Erwähnt sei noch, dass sowohl der Druckverlust des Wechselstromtransformators durch die mit dem Schwingungsweg zunehmende Reibung des Hebelzapfens als auch der „Spannungsabfall“ durch Streuung in dem bei Durchbiegung der Hebelarme entstehenden Druckverlust sein Analogon findet. Ob die Sekundärseite eine motorähnliche Vorrichtung antreibt und das Ganze so eine Arbeitsübertragung vorstellt, oder ob sie mit einer Pumpe verbunden ist, welche Flüssigkeit in wechselnder Richtung durch ein in sich geschlossenes Netzwerk treibt und so etwa einer Beleuchtungsanlage entspricht, ist natürlich für den Transformator von nebensächlicher Bedeutung. Auch die Zwischenschaltung einer Leitung, bei welcher der Druckverlust proportional mit der Geschwindigkeit J und der Leitungslänge ist, und bei welcher deshalb der prozentuale Verlust in der Leitung durch beiderseitige Transformierung des Produktes E . J vermindert werden soll, würde durch Weiterführung der Mechanismenkombination, wie in Fig. 16 ange-

Fig. 16.



deutet, möglich sein, doch bietet eine derartige Weiterführung kaum neue Momente.

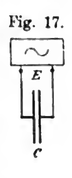
24. Die bisherigen Erscheinungen bezogen sich auf metallisch geschlossene Strombahnen, die sonach sowohl bei Gleich- als Wechselstrom eine Dauerströmung zulassen. Ein wesentlich neues Moment bei diesen elektrischen Ausgleichbewegungen kommt nun hinzu, wenn man den metallischen Kreis an einer Stelle unterbricht und daselbst eine Isolationsschicht von genügender Ausdehnung und geringer Dicke, wie sie ein unter dem Namen Kondensator bekannter Apparat darbietet, einfügt. Die bestehende Druckdifferenz auf beiden Seiten der Schicht wird alsdann, wie bereits in § 7 näher betrachtet, eine dielektrische Verschiebung und damit einen beschränkten Verschiebungsstrom in den Zuführungsleitungen hervorrufen. Dieser Verschiebungsstrom wird sein Ende erreichen, wenn an jeder Stelle der Isolationsschicht die geweckten Elastizitätskräfte jener Druckdifferenz das Gleichgewicht halten. Hiebei ist zu beachten, dass die elastisch verschiebbaren Friktionsmoleküle der Schichtdicke nach so befestigt sind, dass sich die einzelnen, auf je ein Friktionsmolekül entfallenden Teildrucke addieren, wie auch Fig. 2 erkennen lässt. Eine mechanische Analogie würde sonach für Gleich- und Wechselstrom etwa dadurch zu erhalten sein, dass man die in Fig. 10 angegebene Zentrifugalvorrichtung sich nicht beliebig frei drehbar denkt, sondern beschränkt durch eine elastische Schnur, etwa wieder eine Kautschukschnur, welche einerseits an der Welle W jener Vorrichtung, andererseits an einem ausserhalb befindlichen Fixpunkt befestigt ist. Wird jetzt die Welle wieder wie in § 21 durch ein konstantes Drehmoment E angetrieben, so wird auch hier eine Bewegung in diesem Sinne stattfinden, bis die elastischen Gegenkräfte jener elastischen Schnur ein entgegengesetztes, gleich grosses Drehmoment ausüben. Alsdann wird, wenn man zunächst von der verhältnissmässig klein gedachten Trägheit des Systems abstrahiert, die Bewegung ein Ende erreichen und im gespannten Zustande verharren bis jene äussere, das Drehmoment erzeugende Kraft sich ändert oder, wie wir sogleich annehmen wollen, zu wirken aufhört. Im letzteren Fall werden die Gegenkräfte der elastischen Schnur in Wirkung treten und die anfängliche Bewegung rückgängig machen. Eine Dauerbewegung ist also hier nicht möglich, sondern nur ein beschränktes Aufziehen der Vorrichtung, welches dem Laden eines Kondensators durch eine Gleichstromquelle entspricht, wie in Fig. 2 angedeutet.

Völlig anders ist jedoch die Wirkung, sobald an Stelle des gleichsinnigen Antriebes ein Wechselantrieb tritt, also wenn z. B. in Fig. 10

Digitized by Google

die Welle nicht stets in demselben Drehsinn, sondern durch eine hin- und hergehende Zahnstange angetrieben wird. Zwar wird auch hier jene elastische Schnur die Bewegungsweite ($\int i \, . \, dt$ vergl. § 22) nach derselben Richtung begrenzen, insofern diese ein Ende erreicht, wenn die elastischen Gegenkräfte gleich dem Maximum des äusseren Antriebes werden; aber damit wird die Bewegung nicht ihr Ende erreichen, vielmehr infolge der wechselnden Richtung der Antriebskraft in eine dauernde Wechselbewegung übergehen. Die Analogie hiezu bildet der Wechselstrom, welcher in der Zuführungsleitung zwischen einer Kapazität C und einer Wechselstromquelle bei Schaltung wie in Fig. 17 vorhanden ist. Da die Stärke J dieses Wechselstromes von der sekundlich durch jeden vollen Querschnitt des Kreislaufes tretenden Anzahl Friktionsmoleküle, gleichgiltig von welcher Richtung, dargestellt wird, so ist der Zusammenhang des effektiven Mittelwertes von J mit den übrigen in Frage kommenden Grössen (das ist der effektive Mittelwert des Druckes E, die aus Querschnitt q, Dicke l und Dielektrizitätskonstante σ der Isolationsschicht zu $C = \frac{q \, . \, \sigma}{l}$ gebildete Kapazitätsgrösse (vergl. hiezu auch § 30), und die sekundliche Wechselzahl z) auf Grund der Maxwellschen Verschiebungsvorstellung leicht zu $J = E \, . \, C \, . \, p$ ableitbar, wenn p ausser der Wechselzahl z noch eine auf den Formfaktor der Druckkurve bezügliche Konstante enthält, die bei Sinuswelle $= \pi$ ist (vergl. § 10). Da elastische Gegenkräfte die Eigenschaft besitzen im Sinne der zeitlich folgenden Rückbewegung zu wirken, d. h. diese einzuleiten streben, gerade entgegengesetzt den in § 22 betrachteten Trägheitskräften, welche stets im Sinne der zeitlich vorausgegangenen Bewegung wirken, d. h. diese zu erhalten streben, so erleidet die in § 22 behandelte Phasenverschiebung zwischen dem ursächlichen Druck und der erwirkten Verschiebung bezw. Ausgleichgeschwindigkeit J insofern eine Umkehrung, als hier J dem E entsprechend voreilen muss (vergl. hiezu auch den folgenden § 25).

Fig. 17.

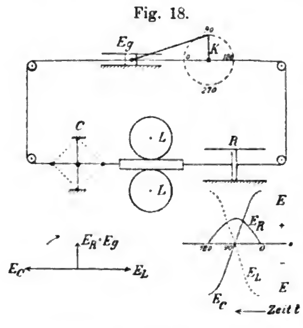


25. Nach Veranschaulichung und Ableitung dieser einfacheren Verhältnisse sollen noch die Erscheinungen, welche bei Vereinigung aller drei Klassen von Bewegungswiderständen, d. i. Reibung, Trägheitswiderstand und elastische Gegenkraft, in demselben Stromkreis oder Ausgleichsweg auftreten, durch eine mechanische Analogie der Auffassung näher gebracht werden. Zu diesem Zwecke müssen die drei elektrischen Widerstandsklassen durch die entsprechenden mechanischen ersetzt und durch Hintereinanderschaltung vereinigt werden.

Digitized by Google

Dies möge, wie in Fig. 18 angedeutet, geschehen sein: die über vier Leitrollen geführte, in sich geschlossene Fadenbahn werde durch die gleichförmig rotierende Kurbel K in hin- und hergehender Bewegung erhalten, wobei die Geschwindigkeit des mit der Fadenbahn verbundenen Kreuzkopfes einen sinusförmigen Verlauf hat. Bei C sei eine, dem Kondensator entsprechende, elastische Gegenkraft wirksam in Gestalt zweier Kautschukfäden, welche die in der Fadenbahn befestigte Kugel in der Mittelstellung zu halten suchen; ferner sei bei L eine dem Selbstinduktionskoëffizienten entsprechende Schwungmasse in Gestalt zweier schwerer Rollen angebracht, welche durch die in der Fadenbahn liegende Friktionsstange in Umdrehung versetzt werden müssen und somit einen Trägheitswiderstand darbieten, sobald eine Geschwindigkeitsänderung der Fadenbahn bezw. Friktionsstange eintritt; endlich sei noch bei R die dem Ohmschen Widerstand entsprechende Reibung in Gestalt des in einem Cylinder bewegten Kolbens gleichfalls in die Fadenbahn eingeschaltet, und zwar denke man sich der leichten Uebersicht halber alle etwa sonst noch im äusseren Kreise vorhandene Elastizität, Masse oder Reibung auf diese drei Stellen konzentriert, wodurch nichts Wesentliches geändert wird. Ferner soll die zur Ueberwindung der Reibung R erforderliche Kraft direkt proportional der Geschwindigkeit sein, was thatsächlich nahezu der Fall ist, ebenso soll die zur Dehnung der Kautschukfäden erforderliche Kraft direkt proportional der Elongation sein, was sich beim obigen Modell leicht durch vier in unmittelbarer Nähe der Fadenkreuzung feststehende Stifte praktisch erzielen lässt, jedoch sind dieselben der Deutlichkeit halber weggelassen. Denkt man sich jetzt den Mechanismus bereits im stationären Bewegungszustand und unterscheidet, um eine sehr häufig begangene Verwechselung der Richtung zu vermeiden, wiederum streng zwischen (passiver) Widerstandskraft, welche Bewegung verhindern will und (aktiver) Antriebskraft, welche sie bewirkt, so kann man jetzt leicht die Kurven der erforderlichen aktiven Teilkräfte als Ordinaten zu der Zeit als Abszisse auftragen, wobei in Fig. 18 alle

Fig. 18.



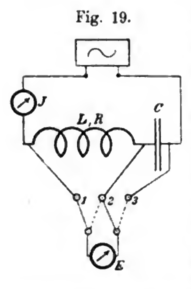
am Kreuzkopf von links nach rechts wirkenden Kraftkomponenten nach oben, alle von rechts nach links wirkenden nach unten aufgetragen sind. Bezeichnen die Abszissen 90° und 270° die Mittelstellungen, so ist daselbst die Geschwindigkeit der Fadenbahn am grössten (J_{max}), daher die zur Ueberwindung von R erforderliche, in Richtung der Bewegung liegende Kraftkomponente E_R ein Maximum; da in der Mittelstellung die Kautschukfäden nicht gespannt sind, so ist $E_C = 0$; da ferner die Geschwindigkeitsänderung beim Maximum auch gleich Null, so ist auch $E_L = 0$. Für die Verhältnisse an den Umkehrpunkten, z. B. bei 0°, ergibt sich folgendes: da die Geschwindigkeit der Fadenbahn = 0, so ist auch $E_R = 0$, die Kautschukfäden bei C weisen ihre grösste Elongation nach rechts auf; um ihrer Spannung das Gleichgewicht zu halten, muss die aktive Teilkraft E_C ein nach rechts gerichtetes Maximum haben, somit nach oben aufgetragen werden. Während also die passive Widerstandskraft in Richtung der künftigen Bewegung liegt, d. h. 90° vorauseilt, muss die aktive Antriebskraft, welche ihr das Gleichgewicht hält, um 90° nacheilen. Von den Schwungmassen L hat auf dem Wege 180 bis 0 die untere im Uhrzeigersinn, die obere umgekehrt rotiert; dieselben müssen jetzt ihre Bewegungsrichtung ändern, so dass die Geschwindigkeitsänderung ein Maximum wird, und der Druck des passiven Trägheitswiderstandes in Richtung der bisherigen Bewegung geht, d. h. um 90° nacheilt, somit die aktive Kraftkomponente E_L um 90° voreilt, also nach unten aufzutragen ist. Offenbar ist die von aussen zuzuführende Kraft E_G, wie stets bei periodisch veränderlichen Kraftkomponenten, gleich der resultierenden aus allen drei Kraftkomponenten. Richtung und Grösse des Maximums dieser periodisch veränderlichen Kraft ermittelt sich in der Regel übersichtlicher und bequemer am Polardiagramm (Fig. 18 u. 20). E_C und E_L können nun in einem beliebigen Verhältnis zu einander stehen, stets werden sie sich teilweise nach aussen hin, d. h. bezüglich der Grösse des erforderlichen E_G aufheben, so dass das letztere kleiner ist nicht nur als die algebraische, sondern auch als die geometrische Summe der beiden grössten Teilkomponenten (vergl. hiezu auch Fig. 20); je näher $E_C = E_L$, desto näher wird E_G an Grösse gleich E_R werden. Für den ausgezeichneten Fall, dass E_C genau gleich E_L, d. h. dass die Elastizität der Kautschukfäden und das Trägheitsmoment der Schwungmassen bei einer bestimmten, konstanten, minutlichen Tourenzahl von K genau aufeinander abgestimmt sind, wird nicht nur $E_G = E_R$, sondern es kann auch E_C und E_L beliebig gross sein gegenüber E_R, ohne dass

Digitized by Google

E_G vergrössert zu werden braucht, oder mit anderen Worten: das Verhältnis $\frac{E_C}{E_G}$ bezw. das gleich grosse $\frac{E_L}{E_G}$, d. i. die Stärke der Resonanz kann beliebig gross gemacht werden.

26. Ganz analog liegen nun die Verhältnisse bei den elektrischen Erscheinungen, wenn, wie in Fig. 19 angedeutet, ausser den erforderlichen Messinstrumenten eine Spule, deren Selbstinduktionskoëffizient L und deren Ohm scher Widerstand R ist, und eine Kapazität C in serie an eine Wechselstromquelle angeschlossen sind. Man braucht nur für die mechanischen Kraftkomponenten stets die entsprechenden elektromotorischen Kräfte einzusetzen; nur insofern wird häufig ein Unterschied bestehen, als bei dem mechanischen Modell die Länge der Kurbel konstant gegeben sein wird und somit zu der gleichfalls konstanten Schwingungsweite des Systems, welche der elektrischen Stromstärke entspricht, die erforderlichen Kraftkomponenten, sowie deren resultierende Kraft E_G am Kreuzkopf gemessen werden. Bei dem elektrischen System wird hingegen gewöhnlich die von aussen durch den Wechselstromgenerator oder Transformator zugeführte Gesamt-EMK d. i. E_G konstant bleiben, die resultierenden Stromstärken und die damit direkt proportionalen elektromotorischen Teilkräfte

Fig. 19.



$$E_C = \frac{J}{p \cdot C} \text{ und } E_L = J \cdot p \cdot L$$

werden sich ändern und zu messen sein. Um diesen elektrischen Fall mechanisch nachzuahmen, könnte man, ähnlich wie in § 23 angegeben, an Stelle des einfachen Kreuzkopfes einen Kolben antreiben, welcher in einem Cylinder abgedichtet hin- und hergeschoben wird, während die Endverschlüsse des Cylinders aus wiederum nach Art der Fig. 11 verschiebbaren Kolben bestehen würden; an letztere wäre alsdann die Fadenbahn anzuschliessen.

Fig. 20.

Was zunächst die theoretische Ableitung für die Stärke der Resonanz anlangt, wenn man das Verhältnis von

$$\frac{E_C}{E_G} \text{ bezw. } \frac{E_S}{E_G}$$

damit bezeichnet, so ergibt sich dieselbe aus den drei Gleichungen,

Digitized by Google

die man am einfachsten aus dem Polardiagramm der elektrischen Spannungsdifferenzen, oder nach Abkürzung der entsprechenden Widerstandsgrössen mit dem einheitlichen J (Fig. 20) ableiten kann und welches demjenigen der mechanischen Kräfte (vergl. Fig. 18) analog ist, jedoch ist Fig. 20 um 180° gedreht gezeichnet. Hienach ist (vergl. auch Fig. 19)

$$E_{1,3} = E_G = J \,.\, W = J\sqrt{R^2 + \left(p\,L - \frac{1}{p\,C}\right)^2}$$

$$E_L = J \,.\, p \,.\, L$$

$$\text{bezw. } E_{1,2} = E_S = E_{R,\,L} = J\sqrt{R^2 + p^2 L^2}$$

$$E_{2,3} = E_C = \frac{J}{p \,.\, C}$$

$$\text{und } \frac{E_C}{E_G} = \frac{1}{p \,.\, C \,.\, W}$$

$$\frac{E_S}{E_G} = \frac{\sqrt{R^2 + p^2 L^2}}{W}$$

Für den Fall der stärksten Resonanz muss ferner

$$p\,L - \frac{1}{p \,.\, C} = 0$$

$$\text{oder } p^2 = \frac{1}{L \,.\, C}$$

sein, woraus die der Pendelgleichung analoge Gleichung für die Schwingungsdauer bezw. hier für die Wechselzeit $\left(\frac{1}{z}\right)$ in Sekunden

$$\tau = \frac{1}{z} = \pi\sqrt{\frac{L}{\left(\frac{1}{C}\right)}}$$

folgt, worin wiederum L die Rolle des Trägheitsmomentes und der reciproke Kapazitätswert $\frac{1}{C}$ diejenige der Richtkraft übernimmt. Da in diesem Fall $W = R$ wird, so erhält man

$$\frac{E_C}{E_G} = \frac{1}{p \,.\, C \,.\, R}$$

$$\frac{E_S}{E_G} = \frac{\sqrt{R^2 + p^2 L^2}}{R}$$

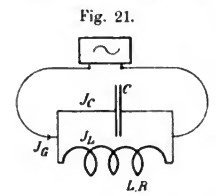
oder meist sehr nahe $= \frac{p \,.\, L}{R}$.

Digitized by Google

Theoretisch könnte man sonach die Resonanz beliebig stark machen, indem man R beliebig klein macht. Will man jedoch praktisch eine möglichst kräftige Resonanz herbeiführen, so wird man durch materielle Rücksichten ziemlich stark beschränkt. Dies rührt zum grossen Teil daher, dass für R auch hier stets der gesamte Reibungswiderstand, d. h. Ohmscher und magnetischer Reibungswiderstand, einzusetzen ist, also der auf die Wickelung reduziert gedachte Wert $R_e = \frac{P}{J^2}$, wenn P die von der Wickelung verbrauchten Watt und J die effektive Wickelungsstromstärke in Ampère bedeutet. (Ueber einige hohe, unter günstigen Umständen erreichte Resonanzwerte vergl. Versuche des Verfassers „Elektrotech. Zeitschrift" 1897, Heft 5.) Diese Erscheinungen haben zwar zunächst nur eine negative praktische Bedeutung, insofern ihr Auftreten wegen einer Isolationsgefährdung zu vermeiden ist, was namentlich beim An- und Abschalten von Kabelstücken an ein Kabelnetz zu beachten ist (vergl. L. Neustadt, „Elektrotech. Zeitschrift" 1893, S. 253 oder Feldmann, Wechselstromtransformatoren I, S. 129). Andererseits besitzen sie aber für das Studium des Wechselstromes den positiven Wert, dass sie besonders geeignet sind, um die durch Gleichstrombetrachtung etwas einseitig gewordene Denkweise von diesen Fesseln zu befreien und ihm das abweichende, oder wenigstens allgemeinere, weil auf Vektoreigenschaften begründete Wesen des Wechselstromes zu erschliessen.

27. Der soeben behandelte Fall der Spannungsresonanz, bei welcher eine kleine Gesamtspannung zwei mehrfach grössere Teilspannungen ohne neu hinzutretende primäre Spannungsquelle umfasst, findet sein Gegenstück in der Stromresonanz, welche auftritt wenn Selbstinduktion und Kapazität nicht in serie, sondern parallel geschaltet werden, wie dies Fig. 21 schematisch angibt. Hier wird nämlich beim Zusammenstimmen von C, L und p durch eine kleine Bewegung von aussen (J_G) eine viel stärkere Schwingungsbewegung innerhalb des in sich geschlossenen Kreislaufes der Verzweigung ausgelöst, und das Verhältnis der Stromstärken

Fig. 21.



$$\frac{J_C}{J_G} \text{ bezw. } \frac{J_L}{J_G}$$

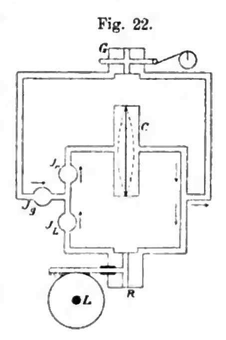
wird alsdann ein Mass für die Stärke der Stromresonanz abgeben.

Digitized by Google

In der letztgenannten Hinsicht wirkt die Beobachtung einer starken Stromresonanz mit dem Entspriessen zweier starker Teilströme aus einem vielmal schwächeren Strom durch ihren scheinbaren Widerspruch mit dem Kirchhoffschen Grundgesetz noch überraschender[1]).

Wenn man die Verhältnisse der Stromresonanz sich wie oben diejenigen der Spannungsresonanz durch ein mechanisches Modell veranschaulichen will, so ist man genötigt, eine Abänderung für die Uebertragung der mechanischen Kräfte gegen oben vorzunehmen, da man mit einer Fadenbahn die Verhältnisse der Parallelschaltung zweier Leiter nicht wohl ausführen kann. Man muss hier vielmehr wieder zum Wassermodell zurückgreifen: Man denke sich ein vollständig mit Wasser gefülltes und geschlossenes Rohrsystem in der in Fig. 22 angegebenen Weise ausgeführt, wobei der Kondensator C mechanisch durch ein starres Gefäss mit einer der Ausbiegung fähigen Zwischenwand (Kautschukplatte für niedere, Metallplatte für hohe Drucke) dargestellt wird, die dazu parallel geschaltete Selbstinduktion durch die grosse Schwungmasse L, welche zahnradartig mit einer Kolbenstange verbunden ist; der Kolben möge im Cylinder mit Reibung R durch Wasserdruck hin- und hergeschoben werden können. Natürlich ist diese Einrichtung nur zur Darstellung bei Wechselstrom verwendbar. Man braucht sich jetzt nur, wie durch Anwendung hohen Drucks leicht ausführbar, die Schwungmasse L sehr gross gegenüber der in der Leitung bewegten Wassermasse vorzustellen, um die Trägheit der letzteren gegen diejenige von L vernachlässigen zu können, oder auch die Masse derselben in L konzentriert zu denken, um ein Analogon für die Vorgänge der elektrischen Stromresonanz zu haben. Der von aussen angetriebene, hin- und hergehende Cylinderkolben G stellt, ähnlich wie im ersten Modell, den Generator vor. Bei passender Tourenzahl kann dieselbe auch hier mit C und L so zusammengestimmt werden, dass in den parallelen Zweigen durch Resonanz eine Kreis-

Fig. 22.



[1]) Ueber Ableitung der Formeln und Versuchsresultate vergl. „Elektrotechn. Zeitschrift" 1897, Heft 5 oder Heinke: Wechselstrommessungen und magnetische Messungen (bei S. Hirzel in Leipzig) § 113 und 114.

Digitized by Google

laufbewegung entsteht, welche eine viel stärkere Wasserbewegung (J_C und J_L) zur Folge hat, als diejenige in der Zuführungsleitung (J_G) ist, wobei natürlich auch hier die Schwingungsphase der Kreisbewegung gegenüber derjenigen von J_G in gleicher Weise wie beim elektrischen Vorgang verschoben sein muss, so dass die Maxima von J_C und J_L bei polarer, geometrischer Darstellung dieser eigentlich zeitlichen Vorgänge nahezu senkrecht stehen auf dem Maximum von J_G und vom Verzweigungspunkte aus gesehen entgegengesetzte Richtung haben.

Wie dieses Modell eigentlich ein Wasserpendel vorstellt, bei welchem die Wasserbewegungs- oder Stromstärke in der einen Kreislauf bildenden, verzweigten Leitung die Schwingungsamplitude, diejenige in der einfachen Zuführungsleitung die Antriebsamplitude darstellt, so wird durch die obige Kombination von Kapazität und Selbstinduktion eine entsprechende elektromagnetische Pendelvorrichtung gebildet.

IV. Die Ausgleichserscheinungen und ihre Verwandtschaft.

28. Die weitgehenden mechanischen Analogieen zu den elektromagnetischen Bewegungsvorgängen legen die Vermutung nahe, dass trotz des scheinbar weiten Abstandes dieser beiden physikalischen Gebiete doch ein gemeinschaftlicher Ausgangspunkt für beide Arten von Bewegungsvorgängen bestehen müsse. Lassen sich die auf beiden Gebieten herrschenden Bewegungsgesetze aus einem allgemeineren und die einzelnen Gesetze umfassenden Grundgesetz ableiten, so würde in diesem der gemeinsame Stammbaum zu suchen sein. In folgendem soll diese Herleitung unter Zurückgehen bis auf das Kausalitätsgesetz versucht werden. Das Kausalitätsgesetz, welches zunächst besagt, dass jedem Geschehen oder jeder Wirkung eine zugehörige Ursache entspricht, schliesst bereits durch die Voraussetzung einer zeitlichen Aufeinanderfolge von Ursache und Wirkung ein, dass irgend eine Entwickelung von der Ursache zu der von der Ursache verschiedenen Wirkung stattgefunden hat. Bezeichnet man hiebei dem Sinn entsprechend als Ursache nicht nur ein auslösendes Moment, sondern fasst darunter die Gesamtheit des Ursächlichen, so könnte man zwar nach unserem heutigen Wissensstande unter Zugrundelegung der Energiegleichung insofern eine Umkehrung der Formulierung eintreten lassen, als man sagt: wir gebrauchen die Bezeichnungen Ursache und Wirkung, wenn die auf Erfahrung gegründete Thatsache vorliegt,

Digitized by Google

dass zwei zeitlich aufeinander folgende Zustände desselben ins Auge gefassten Energiebetrages für einen ausserhalb der Zeit eingenommenen Standpunkt eine Verwandlung oder Entwickelung aufweisen. Die Art der Formulierung, obwohl philosophisch wichtig, beeinflusst jedoch die folgenden, auf das physikalische Gebiet bezüglichen Betrachtungen nicht. Notwendig schliesst jedoch die Entwickelung eines physikalischen Vorganges den Begriff der Bewegung ein. Dieser Bewegungsvorgang, welcher die Verbindung zwischen Ursache und Wirkung darstellt, muss aber stets noch ein bedingendes Moment voraussetzen, welches zu der qualitativen Seite des einerseits Ursächlichen, z. B. Spannungsdifferenz, andererseits Erwirkten, z. B. Stromstärke, die stets vorhandene quantitative Seite hinzubringt. Physikalisch fassen wir die Ursache ganz allgemein unter den Begriff Kraft, d. h. ein Bestreben, die jeder Ursache oder Kraftäusserung zu Grunde liegende Differenz zu verringern. Diesem Bestreben entspricht in der zeitlichen Weiterentwickelung stets eine Art von Ausgleich. Der Zusammenhang jener ursächlichen Differenz und des zeitlich nachfolgenden erwirkten Ausgleiches wird nun durch jenes bedingende Moment gebildet, das hier zunächst mit dem begrifflich im denkbar weitesten Sinne zu fassenden Wort „Widerstand“ belegt sei. Kraft stellen wir uns in letzter Linie stets durch die menschliche Aeusserung des Druckes oder des gegensätzlichen, aber dem Wesen nach gleichwertigen Zuges vor. Drücken wir den obigen Zusammenhang, wie üblich in der Form der Gleichung aus, so könnte man sonach schreiben

$$\text{Ausgleichstärke} = \frac{\text{Druckdifferenz}}{\text{Widerstand}} \quad \text{oder symbolisch } A = \frac{D}{W}.$$

Die nächste entstehende Frage ist: Wie haben wir die Unzahl der möglichen physikalischen Bewegungsvorgänge zu sichten, um von diesem Hauptstamm zu den daraus entspriessenden Hauptästen oder auch Hauptwurzeln zu gelangen und wieviel gibt es deren? Zu dieser Teilung wird sich der vorläufig auch mechanisch noch etwas mystisch verschleierte Sammelbegriff „Kraft“ zunächst nicht eignen, wohl aber die verschiedenen Formen des Ausgleichs. Während der erstere trotz seiner verschiedenen Formen durch die Vorstellung der allen gemeinsamen Druckdifferenz eine gewisse Wesensgleichheit aufweist, lässt der Ausgleich drei abstrahierte, der Zeitdimension nach verschiedene Grundformen unterscheiden, welche durch die Begriffe Beschleunigung, Geschwindigkeit und Verschiebung (bestimmte Entfernung der Anfangs- und Endlage) charakterisiert sind. Bei der Wesensgleichheit der

Digitized by Google

Druckdifferenz erscheint bereits gemäss der obigen Gleichung eine entsprechende Verschiedenheit der Widerstandsform unerlässlich. Thatsächlich kann man im engsten Zusammenhang mit den Ausgleichsformen drei abstrahierte Widerstandsklassen unterscheiden, welche jenen entsprechend zugehörig durch die Begriffe Trägheits-, Reibungs- und Elastizitätswiderstand bezeichnet sind. In Wirklichkeit werden nun zwar jene reinen Ausgleichsformen streng genommen eigentlich nie, praktisch zuweilen in sehr grosser Annäherung vorliegen, meistens wird man es jedoch mit der Verbindung von zwei oder auch allen drei, natürlich in den verschiedensten Mischungsverhältnissen, zu thun haben, woraus sich alsdann noch häufig für praktische Zwecke die Abstraktion oder auch Reduktion auf eine derselben als naheliegend ergeben wird. In manchen Fällen wird man jedoch auch praktisch gezwungen sein mit den Mischwiderständen zu rechnen.

29. Hinsichtlich der geistigen Entwickelungsgeschichte des Menschen ist es nun nicht ohne Interesse in der Geschichte der Physik zu verfolgen, auf welchen Gebieten, auf welche Weise und in welcher Reihenfolge jene abstrahierten Gesetze zuerst gefunden und formuliert wurden. Galilei gelangte bei Untersuchung der Fallgesetze zunächst auf die Abstraktion vom Reibungswiderstand und damit zu der Formulierung des die Beschleunigung (g) und den Trägheitswiderstand oder die Masse (M) enthaltenden Bewegungsgesetzes $g = \frac{F}{M}$. Das Ergebnis der Untersuchungen von Fourier über die Wärmeleitung führte zur Einführung des Begriffes der sogenannten inneren Wärmeleitungsfähigkeit, bezw. des diesbezüglichen Materialkoëffizienten k, und die Formulierung des Ausgleichsgesetzes für stationäre Verhältnisse bei konstant gehaltener Temperaturdifferenz führte zu einer Gleichung, die nachher Ohm unter Anwendung von Analogieschlüssen für das nach ihm benannte Gesetz benutzte. Nach Fourier ergab sich für jene Verhältnisse die Wärmemenge U, welche durch den Querschnitt q des seitlich isoliert gedachten Ausgleichsweges von der Länge l in der Zeit t tritt zu

$$U = \frac{q}{l} \cdot k \cdot t \cdot T,$$

wenn T die konstante Temperaturdifferenz zwischen den Endpunkten von l, bezw. $\frac{T}{l}$ das Temperaturgefälle und k jener Materialkoëffizient

Digitized by Google

der inneren Wärmeleitungsfähigkeit ist. Durch Umformung ergibt sich hieraus

$$\frac{U}{t} = \frac{T}{\left(\frac{l}{q \cdot k}\right)}.$$

Hierin bedeutet $\frac{U}{t}$ die sekundlich ausgeglichene Wärmemenge oder die Wärmestromstärke und entspricht als Mass für die Geschwindigkeit des gesamten Wärmeaustausches der elektrischen Stromstärke J. Die ursächliche Temperaturdifferenz T ist ihrerseits analog der elektrischen Druckdifferenz E, und zwar ebenfalls eine hinsichtlich des Querschnittes q spezifische Grösse (vergl. § 8). Der sonach dem elektrischen Widerstand im Ohmschen Sinne völlig gleich gebildete Nennerausdruck $\left(\frac{l}{q \cdot k}\right)$ könnte als Wärmeleitungswiderstand jener Leitungsstrecke bezeichnet werden. Bei der anfänglichen Untersuchung elektrischer Strömungszustände lag die Abstraktion von dem schnell vorübergehenden Entwickelungsstadium des elektrischen Gleichstroms nahe, so dass Ohm für den elektrischen Ausgleich zunächst auf das Gesetz $J = \frac{E}{R}$ geführt wurde, welches den reinen Reibungswiderstand und somit die einer Geschwindigkeit entsprechende Stromstärke enthält[1]). In der Festigkeitslehre erfolgte endlich die Formulierung des dritten Untergesetzes durch Einführung des Elastizitätsmoduls ε in die Widerstandsformel, wonach z. B. die Verlängerung λ eines durch die Gesamtkraft F elastisch auf Zug beanspruchten Stabes oder Drahtes von der Länge l und dem Querschnitt q sich zu

$$\lambda = \frac{F}{\left(\frac{\varepsilon \cdot q}{l}\right)}$$

ergibt. Zwar ist sofort zu erkennen, dass hier die Widerstandsformulierung wesentlich anders ist als z. B. in dem Ausgleichsgesetz für die dielektrische Verschiebung, doch liegt dies in der durch die praktischen Bedürfnisse beeinflussten Art der Formulierung und es lässt sich bei näherer Betrachtung die Abweichung aufklären bezw. eine Ueberleitung aus der einen in die andere Formel bewerkstelligen. In der Formel für die dielektrische Verschiebung

$$Q = E \cdot C$$

[1]) Vergl. des Verfassers: Ueber eine Beziehung zwischen der dynamischen Grundgleichung und dem Ohmschen Gesetz. „Elektrotech. Zeitschrift" 1892, Heft 46.

Digitized by Google

bedeutet Q das verschobene Volumen an Friktionsmolekülen oder die Elektrizitätsmenge, E die in spezifischem Sinne zu fassende elektrische Druckdifferenz (vergl. § 8) und C die Kapazität, welche nach den Ausführungen in § 7 und § 24 zu $\frac{q \cdot \sigma}{l}$ sich ergibt. Hienach wäre, da man $Q = q \cdot \lambda$ setzen könnte, worin λ die Länge der Verschiebung der Trennungsschicht

$$q \cdot \lambda = (E \cdot q) \cdot \frac{\sigma}{l},$$

während für die mechanische elastische Verschiebung bei Auflösung von F in seine Faktoren (spezifische Belastung f und Querschnitt q)

$$q \cdot \lambda = (f \cdot q) \cdot \frac{l}{\varepsilon}.$$

Nach der Definition der Dielektrizitätskonstanten (vergl. § 7 und 24) entspricht offenbar σ dem reciproken Wert von ε, also $\frac{1}{\varepsilon}$, jedoch bleibt jetzt noch die verschiedene Stellung von l, das einemal im Nenner, das anderemal im Zähler übrig. Aber auch hiefür lässt sich eine natürliche Erklärung finden, wenn man berücksichtigt, dass im Falle der elektrischen Verschiebung alle einzelnen Friktionsmoleküle, wie Fig. 2 erkennen lässt, an den feststehenden Seitenwänden befestigt sind, so dass die an den Enden wirkende Druckdifferenz sich auf die Anzahl der in der Schichtdicke aufeinander folgenden elektrischen Elementarteilchen verteilen muss. Bei der mechanischen Verschiebung hingegen, bei welcher die Befestigung des Drahtes oder Stabes nur am Ende stattfindet, sind die einzelnen elastischen Längenteilchen nach Tandemart hinter einander gespannt, so dass jedes einzelne durch die gleiche Kraft gespannt wird und ihre elastischen Verschiebungen sich addieren. Die Verhältnisse liegen sonach ähnlich wie bei Herstellung eines elektrischen Reibungswiderstandes aus einer bestimmten gegebenen Anzahl Längeneinheiten des zum Widerstand zu verwendenden Drahtes, an Stelle dessen man sich natürlich auch Glühlampen als Widerstandseinheiten gesetzt denken kann. Sind l solche Einheiten gegeben, so wird bei Hintereinander- der Widerstand l, bei Parallschaltung $\frac{1}{l}$.

Dass im übrigen neben dieser wesentlichen Uebereinstimmung alle Verhältnisse bis ins einzelne bei diesen beiden Fällen der Verschiebung sich gleichen werden, ist schon aus dem Grunde nicht zu erwarten, weil die bei allen elektrischen Ausgleichsvorgängen vor-

Digitized by Google

handene Inkompressibilität bei den entsprechenden mechanischen Vorgängen nicht vorliegt. Der übrigen und namentlich der wesentlichen Vergleichspunkte sind aber so viele, dass eine Gegenüberstellung wohl nützlich ist.

30. Bereits an anderer Stelle[1]) hat der Verfasser darauf hingewiesen, dass die bei dem dynamischen Gesetz $g = \frac{F}{M}$ zu Grunde liegende Abstraktion auch elektrisch nicht nur für die allerersten Anfangsstadien einer eingeleiteten Gleichstrombewegung, sondern auch praktisch alsdann dauernd statthaben kann und den thatsächlich eintretenden Ausgleichszustand hinreichend charakterisiert, wenn man es mit periodischem Wechselstrom zu thun hat und der Selbstinduktionskoëffizient sehr gross gegenüber allen im Stromkreis wirksamen Reibungswiderständen ist. Allerdings ist hiebei zu berücksichtigen, dass als Reibungswiderstand nicht nur der Ohmsche Widerstand der Wickelung, sondern bei Anwesenheit von Eisen auch der auf diese Wickelung reduzierte magnetische Reibungswiderstand einzusetzen ist[2]), also $R_e = \frac{P}{J^2}$, wenn R_e jenen reduzierten Reibungswiderstand, P den von der Wickelung verbrauchten Effekt in Watt und J die effektive Stromstärke (Amp.) in der Wickelung ist. Alsdann reduziert sich der Wechselstromwiderstand, dessen bekannte Mischform aus Reibungs- und Trägheitswiderstand $W = \sqrt{R_e^2 + (p\,L)^2}$ ist, (vergl. §§ 10 und 22) praktisch auf $W = p\,.\,L$ und man erhält $J = \frac{E}{p\,.\,L}$ oder $p\,.\,J = \frac{E}{L}$. Da nun ferner $p\,.\,J = \frac{di}{dt}$ (vergl. § 10) der Ausdruck für die mittlere Stromstärkeänderung oder die Aenderung der Ausgleichsgeschwindigkeit mit der Zeit ist, so entspricht $p\,.\,J = \frac{di}{dt}$ einer Beschleunigung. Die Abstraktion nach dieser Seite bildet somit das Analogon für die obige Gleichung $g = \frac{F}{M}$.

Nach den Ausführungen in § 14 entspricht auch der magnetische Ausgleich, welchen die als M M K bezeichnete und von jedem stromdurchflossenen Leiter ausgehende Antriebskraft bewirkt, einem elastischen Zwangszustand. Deshalb weist auch das magnetische Aus-

[1]) Vergl. „Elektrotech. Zeitschrift“ 1895, Heft 32. Ueber das Kreislaufgesetz.
[2]) Vergl. „Elektrotech. Zeitschrift“ 1897, S. 61.


Digitized by Google

gleichsgesetz eine nahe Verwandtschaft mit den übrigen elastischen Ausgleichsgesetzen auf. Dieses magnetische Ausgleichsgesetz ist in zwei Fassungen gebräuchlich und praktisch wichtig geworden, von denen die eine auf die Gesamtgrössen, die zweite auf spezifische und meist Teilgrössen des Kreislaufs sich bezieht. Ersteres, dem elektrischen Gesetz in der Ohmschen Fassung näher stehende Gesetz (vergl. § 16) stellt in der Form $N = \frac{M}{W_m}$ den totalen Ausgleich N (gemessen in Kraftlinien) als Quotient aller im Kreislauf wirksamen Ampèrewindungen (M) und dem gesamten magnetischen Kreislaufwiderstand $W_m = \Sigma \frac{l}{q \cdot \mu}$ dar, wobei W_m in der Fassung völlig entsprechend ist derjenigen des Ohmschen Widerstandes, nur dass μ nicht konstant ist wie k. Die aus der ersten abgeleitete zweite Fassung $B = \frac{H}{\left(\frac{1}{\mu}\right)}$ bezieht sich meist auf einen Unterteil des Kreislaufes und enthält als Ausgleich die bezüglich des Querschnittes spezifische magnetische Induktion $B = \frac{N}{q}$; ferner die bezüglich der Länge spezifische Grösse des magnetischen Gefälles $H = \frac{M'}{l}$, wenn M′ die auf jenen Unterteil entfallende, dem magnetischen Widerstand proportionale Anzahl Ampèrewindungen ist (vergl. die für alle elektromagnetischen Vorgänge geltende Folgerung in § 8 am Ende); endlich bleibt bei dieser Umformung des Gesetzes von dem $W_m = \frac{l}{q \cdot \mu}$ für den magnetischen Widerstand der zweiten Fassung, entsprechend dem spezifischen Charakter von B und H, noch $\left(\frac{1}{\mu}\right)$ d. i. der für das Material spezifisch magnetische Widerstandskoëffizient zurück.

Die nahe Verwandtschaft zwischen elastischem Ausgleich elektrischer und magnetischer Natur springt noch besser in die Augen, wenn man z. B. bei dem Gesetz für die dielektrische Verschiebung

$$Q = E \cdot C$$

an Stelle des gewöhnlich benutzten Begriffes der Kapazität C den reciproken Begriff des dielektrischen Verschiebungswiderstandes

$$W_d = \varsigma \cdot \frac{l}{q}$$

Digitized by Google

einführt, worin $\varsigma = \frac{1}{\sigma}$ (vergl. § 29) den der Dielektrizitätskonstanten σ reciproken spezifischen Widerstand des Materials gegen dielektrische Verschiebung bedeutet. Alsdann erhält man

$$Q = \frac{E}{W_d}$$

woraus man ähnlich wie beim magnetischen Gesetz eine Umformung auf die spezifischen Grössen vornehmen könnte. Hiebei erhält man die Gleichung

$$\frac{Q}{q} = \frac{\left(\frac{E}{l}\right)}{\varsigma}$$

oder (vergl. § 29)

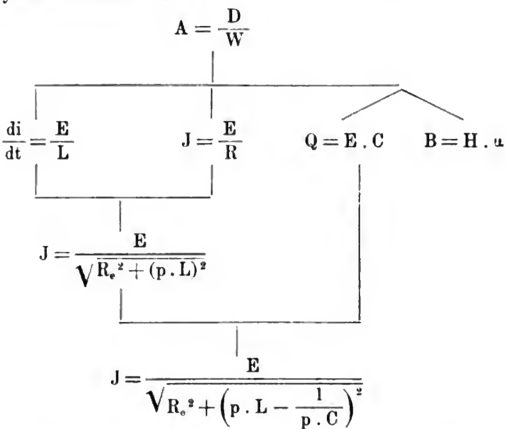
$$\lambda = \frac{E_l}{\left(\frac{1}{\sigma}\right)},$$

wobei E_l den Spannungsabfall auf die Einheit der Schichtdicke bezogen, d. i. das dem obigen H analoge Gefälle bedeutet. Hiebei ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei magnetischen oder Eisenmetallen der Wert von μ keine Konstante ist, sondern von der jeweiligen spezifischen Induktion B abhängig ist. Bereits in diesem Punkte unterscheidet sich das magnetische Kreislaufgesetz von dem Ohmschen Gesetz, bei welchem der Widerstand R bezw. ς unabhängig von der Stromstärke ist, weshalb vor der Verwechselung einer gewissen Verwandtschaft zwischen beiden mit völliger Analogie, sowie vor der Bezeichnung magnetischer Strom als irreleitend zu warnen ist. Vor letzterem namentlich deshalb, weil Ausgleichsform und Widerstandsklasse bei beiden verschieden sind, so dass die Verwandtschaft zwischen dem magnetischen und dem oben erwähnten dielektrischen Ausgleich in Gestalt der dielektrischen Verschiebung eine bedeutend nähere ist, als jene mit dem elektrodynamischen Ausgleich nach dem Ohmschen Gesetz. Abgesehen von diesen Unterschieden, welche zwischen den Spezialisierungen des Ausgleichsgesetzes bestehen, ist aber eine grosse Reihe wichtiger, gemeinsamer Merkmale vorhanden, welche gerade jener Zusammenfassung einen „gedankenökonomischen" Wert verleihen. Bei allen elektromagnetischen Ausgleichsvorgängen besteht dieses Gemeinsame in erster Linie in der Kreislaufnatur derselben.

Um die Verwandtschaft der einzelnen Ausgleichsgesetze etwas übersichtlicher zum Ausdruck zu bringen, empfiehlt sich eine Zu-

Digitized by Google

sammenstellung derselben nach Art einer Stammtafel. Eine solche würde sich, zunächst mit Beschränkung auf die elektromagnetischen Ausgleichsvorgänge[1]) — einerseits wird so die Uebersicht nicht beeinträchtigt, andererseits bietet die Umdeutung der Symbole keine Schwierigkeiten — etwa in folgender Weise ergeben, wenn man die früheren Symbole benutzt.



Das allgemeine Ausgleichsgesetz $A = \frac{D}{W}$ gliedert sich also auf Grund des Vorhandenseins dreier Hauptklassen von Widerständen zunächst in drei Unterabteilungen entsprechend drei reinen Ausgleichsformen. Man kann natürlich ebenso wie bei $Q = E . C$ auch bei den anderen Formulierungen, z. B. $J = \frac{E}{R}$, an Stelle der Quotientenform $\frac{E}{R}$ der rechten Seite die Produktenform $E . C_r$ einführen, unter Ersetzung des Begriffes Widerstand durch den reciproken Begriff der Ausgleichsfähigkeit C_r. Ebenso würde sich die Ausgangsgleichung $A = \frac{D}{W}$

[1]) Die mathematische Analogie, welche eine Anzahl der Gebiete der Physik umfasst, findet bei Du Bois (vergl. „Magnetische Kreise" § 124) für Filtration, Diffusion in Lösungen, Wärmeleitung, dielektrische Polarisation, Elektrizitätsleitung und ferromagnetische Induktion eine Zusammenstellung in einer Vergleichstabelle.

Digitized by Google

in A = D . C umformen, wenn man mit C die ganz allgemein gefasste Ausgleichsfähigkeit bezeichnen würde. Die Ableitung der Mischformen aus den reinen Formen ist schon früher behandelt worden.

Schlussbetrachtungen.

Gingen bereits die Betrachtungen des letzten Abschnittes an einzelnen Stellen über den engeren Rahmen der Elektrotechnik hinaus und verfolgten den Zweck, dieselbe in ihren Grundgesetzen in engere Verbindung mit der übrigen Physik zu bringen, so reizt es zum Schluss, einmal einen Ausblick zu thun auf noch entlegenere Gebiete, welche gerade erst im Begriff sind, der Wissenschaft erschlossen zu werden. Hierunter nimmt neuerdings die Psychologie oder auch Psychophysik eine hervorragendere Stelle ein. Dass auch auf diesem Gebiet nicht nur Willkür waltet, sondern dass das geistige Verhältnis verschiedener Individuen, welches sich in den Empfindungen und Aeusserungen des einzelnen ausdrückt, auch von Gesetzen beherrscht wird, unterliegt keinem Zweifel. Wenn man nur ohne Rücksicht auf die üblichen Namen und Bezeichnungen, welche häufig das Erkennen einer inneren Verwandtschaft zu erschweren geeignet sind, auf das Wesen der allgemein bekannten Erscheinungen eingeht, so bieten sich auch hier noch vielfach Berührungspunkte mit den oben entwickelten Ausgleichsvorgängen. Zunächst gründet sich ein geistiges Verhältnis, wie z. B. das eines Lehrers zu einem Schüler, stets auf eine geistige Differenz — natürlich ist das letzte Wort nicht in seiner gewöhnlich gebrauchten, schlimmen Nebenbedeutung zu verstehen, sondern in dem Sinne von geistiger Verschiedenheit. — Der eigenartige Reiz, welcher für den auf irgend einem Gebiet geistig Höherstehenden oder Ueberlegenen darin liegt, sein Wissen mitzuteilen und diese Differenz gegen den weniger Unterrichteten auszufüllen, kann als ein Ausgleichsbestreben gelten. Zwei in allen Punkten völlig gleiche, wenn auch noch so hoch stehende Menschen würden dasselbe nicht empfinden und hätten sich nichts zu sagen, vielmehr ist der gegenseitig anziehende Reiz stets auf Verschiedenheiten aufgebaut. Der Einwurf, dass hiezu doch das Verhältnis sogenannter harmonisch gestimmter Seelen nicht passe, ist nicht stichhaltig, da eben nur harmonisch, aber nicht unison gestimmte Seelen ein solches Verhältnis haben können.

Diesem geistigen Ausgleichsbestreben steht regelmässig als bedingendes Glied ein geistiger Widerstand — teils gewollt, in Gestalt eines geistigen Widerstrebens, teils ungewollt, in Gestalt eines natür-


Digitized by Google

lichen geistigen Reibungswiderstandes, sowohl des Gebenden als des Empfangenden — entgegen, falls es nicht durch die häufig als Isolierung auftretenden Verhältnisse ganz hintangehalten wird. Auch die Befriedigung des Bestrebens in seinen verschiedenen Formen bietet vielfache Vergleichspunkte mit dem obigen dar. Um dieselben nur kurz anzudeuten, sei einereits an die Dauer und Stetigkeit der Beziehungen bei beiderseitiger gleichförmiger, nicht gewaltsam beeinflusster Weiterentwickelung erinnert, andererseits an die allmähliche Sättigung mit den dadurch hervorgerufenen Erscheinungen der Indifferenz oder auch der Ermüdung bei anderen Beziehungen; ferner an die zu plötzliche Befriedigung bezw. Uebersättigung und die daraus fliessenden Gegenbestrebungen in Gestalt von Widerwillen, Abscheu, Ekel, häufig in Verbindung mit geistigen Resonanzerscheinungen, d. h. gegenseitiger Steigerung der Empfindungen, mit ihren Aeusserungen, wie Zank, Streit und Hass. Dass derartige Steigerungen allerdings zum Glück auch nach der anderen Seite eintreten können, dafür bietet die Liebe in ihrer vielfachen Gestalt einen tröstlichen Beweis.

Diese Verhältnisse haben zwar mit der Elektrotechnik scheinbar sehr wenig zu thun, um so näher werden sie sich aber in der Person des Elektrotechnikers selbst berühren, und warum sollte dieser nicht den Versuch machen, die gewöhnlich als völlig getrennt angesehenen Gebiete seiner Wissenschaft und seines sonstigen Geistes- und Empfindungslebens zwar nicht zu verschmelzen, so doch eine geistige Brücke zwischen ihnen herzustellen? Warum sollte er nicht seinen Geistessonntag dazu benützen, hinaufzusteigen, hoch und immer höher, soweit es seine Kräfte und die sonstigen Umstände gestatten? Die aufgewendete Mühe wird sich in der Regel reichlich lohnen und ihm, je höher er gelangt, einen um so freieren Um- und Ausblick verschaffen. Von diesem erhöhten Standpunkt wird die ganze Umgebung seiner Thalwohnung sich ihm klarer erschliessen, und weit über die nächste Umgebung hinaus wird er den Zusammenhang und die Hauptlinien der ganzen Landschaft erkennen. Mancher sonst entlegen scheinende Gipfel wird sich in das Gesamtbild passend einfügen und das erweckte Gefühl, dass eine tieferliegende Gesetzmässigkeit die Gesamtheit der Bildungen zusammenschliesst, wird die über alle Dissonanzen der Einzelheiten triumphierende Grundharmonie des grossen Ganzen erklingen lassen, ein Ergebnis, das nicht nur ihm und seinem Leben einen höheren Wert verleihen, sondern gleichzeitig auch seinem Berufsschaffen und damit einem weiteren Kreise zum Vorteil gereichen wird.

Digitized by Google

Die gemischten Betriebe auf Schwachstromleitungen

mit besonderer Berücksichtigung der beim Nachrichtenwesen der Eisenbahnen vorkommenden Anordnungen.

Von

Oberingenieur **Kohlfürst,**

Kaplitz bei Budweis.

Mit 24 Abbildungen.

Innerhalb des Gebietes der angewandten Elektrizität finden sich die Fälle ausserordentlich häufig, dass ein und dieselbe Stromleitung, sei es aus rein betriebstechnischen Veranlassungen, sei es aus wirtschaftlichen Gründen, für verschiedene Leistungen ausgenützt wird, wobei die Verschiedenheit der letzteren sowohl im Zwecke als in der Betriebsform oder in beiden zugleich liegen kann. Drei Wege sind es, auf welchen sich solche Doppelbenützungen erzielen lassen, nämlich a) durch die Teilung des normalen Betriebsstromes mittels Zweigleitungen, b) durch die Teilung der Leitungsbenützung nach Zeitabständen, und c) durch die Verwendung ungleicher Stromzustände. Von diesen untereinander scharf geschiedenen, aber nichtsdestoweniger kombinierbaren Anordnungen kommen derzeit in der Praxis bekanntlich die unter Punkt a) gehörenden Doppelbenützungen am allgemeinsten und häufigsten vor, denn es besteht wohl kaum irgend eine elektrische Kraftanlage, bei welcher nicht auch die zugehörige Beleuchtung auf obgedachter Weise gewonnen würde, gleichwie es eben so selten eine grössere elektrische Lichtanlage gibt, wo dem Beleuchtungsstrome nicht auch diese oder jene motorische Nebenleistung überantwortet ist. Namentlich wird bei den elektrischen Eisenbahnen vermittelst Abzweigungen der Speiseleitung in der Regel sowohl die

Digitized by Google

Beleuchtung der Einsteigeplätze als die Innen- und Aussen-(Signal-) Beleuchtung der Fahrzeuge, sowie häufig auch noch die Beheizung der Wagen und der Betrieb selbstthätiger Blocksignale oder Weichenstellvorrichtungen u. dergl. m. mitbesorgt. Solchen und ähnlichen Anforderungen entsprechen die Elektrizitätswerke ohne weiteres nach jeder Richtung hin. Etwas aussergewöhnlicher und daher um so bemerkenswerter unter den hiehergehörigen Einrichtungen ist beispielsweise die von F. v. Hefner-Alteneck erdachte und von der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft, bezw. den Berliner Elektrizitätswerken seit 1893 eingeführte Nebenbenützung des Leitungsnetzes für Zeittelegraphen. Die genannten Werke liefern nämlich ihren Kunden nicht nur Licht und Kraft, sondern auch stets genaugehende Uhren, welche, wie Glüh- oder Bogenlampen an das Netz angeschlossen, durch den Strom aus demselben in Gang erhalten und ausserdem täglich einmal nach einer Normaluhr gerichtet werden. An jeder solchen elektrischen Uhr sind sonach zweierlei Mechanismen vorhanden, von denen der eine den Antrieb, der zweite einmal im Tage die Regulierung bewirkt und jeder seinen Elektromagnet und Vorschaltewiderstand besitzt, welch letzterer durch ein gemeinsames Klemmenpaar an die Leitung angelegt wird (vergl. Elektrotechnische Zeitschrift 1893, p. 363 und 397). Noch weitergehende Anwendungen verwandter Art, deren Vervollkommnung besonders durch Fiske in New York, durch Siemens Brothers in London, durch die Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft in Berlin u. a. gefördert worden ist, finden sich bekanntlich auf den modern ausgerüsteten Kriegsschiffen, wo die vorhandenen Beleuchtungsströme nebenbei nicht nur die mannigfachsten motorischen Vorrichtungen, als das Wenden und Richten der Geschütze, das Heben und Senken von Schutzpanzern, die Zubringung der Munition, den Antrieb von Winden, Pumpen, Aufzügen, Ventilatoren u. s. w., sondern ebensowohl den Betrieb der Kommandotelegraphen, der Ruder- und Schraubenkontrollvorrichtungen, der verschiedensten sonstigen Zeigertelegraphen und selbst Distanzmesser o. dergl. mitbesorgen (vergl. z. B. The Engineer v. 30. März 1894 oder The Electrician v. 16. Oktober 1896). Sehr bezeichnend wird diese Art der mannigfachen Stromausnützung von den Amerikanern das System des Stromabzapfens genannt.

Eine wesentlich andere, ältere, aber gleichfalls noch immer in glänzender Entwickelung begriffene, grosse Gruppe von Anordnungen, welche zu den Mehrfachbenützungen elektrischer Leitungen gerechnet werden müssen, bildet die Vielfachtelegraphie. Dieselbe weist

Digitized by Google

zwei Unterabteilungen auf, wovon die eine, die sogenannte absatzweise, vielfache Telegraphie, unter den oben angeführten Punkt b), und die andere, die gleichzeitige, vielfache Telegraphie, unter Punkt c) fällt. So reich und interessant nun auch das Material ist, welches durch das Anzapfsystem und durch die Vielfachtelegraphie dargeboten wird, so liegt ihre weitere Verfolgung doch nicht mehr innerhalb des Rahmens der nachfolgenden Betrachtungen, da sich diese im wesentlichen nur auf jene zur Nachrichtengebung bestimmten Einrichtungen beschränken sollen, bei denen es sich um Schwachstromanordnungen mit ausgesprochen verschiedenen Betriebsformen handelt. Zufolge dieser Einschränkung wird sonach der hier zu verarbeitende Stoff lediglich die nachstehenden Themate zu umfassen haben: A. Verschiedene Signalvorrichtungen auf einer und derselben Leitung, B. die Signalgebung auf Telegraphenleitungen, C. das Telegraphieren auf Signalleitungen, D. die Telephonie auf Telegraphenleitungen, E. die Telephonie auf Signalleitungen und endlich F. die Telephonie in Verbindung mit Telegraphie auf Signalleitungen.

Mehr oder minder zahlreiche Vertreter aller dieser Einrichtungsformen sind in der Praxis verwendet gewesen oder stehen derzeit in Anwendung; allerdings innerhalb der staatlichen Telegraphennetze nur in einem verhältnismässig geringen Umfange, dafür aber um so häufiger und ausgebreiteter bei den Privattelegraphengesellschaften und bei den grossen Eisenbahnen, welch letztere ihren bedeutenden Nachrichtendienst ja gleichfalls vorwiegend nur im elektrischen Wege abwickeln und auf die wirtschaftlich günstigen Momente Wert legen, welche sich durch Doppelausnützungen vorhandener Leitungen nicht selten erzielen lassen. Bevor jedoch auf die Vorführung einzelner einschlägiger Beispiele übergegangen wird, dürfte es sich — um spätere Schwerfälligkeiten und Wiederholungen zu ersparen — anempfehlen, vorerst einige jener Umstände in Erwägung zu nehmen, welche den Betrieb der elektrischen Anlagen für den Nachrichtendienst im allgemeinen betreffen. Hieher gehört u. a. die Thatsache, dass zu jeder elektrischen Nachrichtenanlage für alle Fälle neben der Leitung auch die Elektrizitätsquelle, welche die Betriebsströme liefert, sowie Apparate erforderlich sind, um jene zu lenken und ihre Wirkungen sinnlich wahrnehmbar zu machen. Die letztgedachten Vorrichtungen, die Empfänger, gleichwie die zum Lenken und Formen des Stromes dienenden Sender müssen also dem im Schliessungskreise (in den Signal-, Telegraphen-

Digitized by Google

oder Thelephonlinien) bestehenden oder hervorzurufenden Stromzuständen, auf welche sie ansprechen, bezw. welche sie bewirken sollen, vollkommen angepasst sein. Dabei werden sich selbst an der einfachsten Einrichtung stets mindestens zwei ungleiche Stromkreiszustände unterscheiden lassen, nämlich jener während der Ruhelage (Pause) und jener während der Zeichengebung. Nicht selten ist entweder in der Pause oder während der Zeichengebung der Schliessungskreis ganz stromlos, wobei dieser Zustand sowohl durch Unterbrechung des Leiters als durch Wegschaltung der Elektrizitätsquelle oder wohl auch durch Gegeneinanderschaltung zweier Stromquellen erzeugt werden kann, die sich in ihren Wirkungen aufheben. Was die zur Zeichengebung geeigneten Betriebsströme selber anbelangt, so lassen sich dieselben sowohl nach ihrer Dauer und Form, als nach ihrer Stärke und Richtung unterscheiden, d. h. es können Zeichen hervorgerufen werden durch:

1. dauernde Ströme, bezw. deren Unterbrechung;
2. langsam aufeinander folgende, längere Stromgebungen:
3. rasch aufeinander folgende Stromgebungen;
4. zerteilte (intermittierende) Ströme;
5. wellenförmige (undulatorische) Ströme;
6. Ströme von bestimmter Minimalstärke;
7. Abschwächung eines Normalstromes;
8. Verstärkung eines Normalstromes;
9. ausschliesslich positiv gerichtete Ströme;
10. ausschliesslich negativ gerichtete Ströme;
11. Ströme wechselnder Richtung.

Unter allen diesen Stromarten gibt es keine, die nicht für die Nachrichtengebung ausgenützt würde — die eine häufiger, die andere seltener — und zwar sowohl einzeln als in den mannigfachsten Kombinationen. Es ist nun einleuchtend, dass z. B. Empfangsapparate, die zu ihrer Bethätigung positive Ströme erfordern, neben solchen, die mit negativen arbeiten, oder Empfänger, welche etwa dem Betriebe mit rasch aufeinander folgenden Wechselströmen angepasst sind, neben solchen, die nur für langdauernde, gleichgerichtete Ströme ansprechen, in einen gemeinschaftlichen Schliessungskreis gebracht werden können, ohne sich gegenseitig zu stören. Je nachdem Ströme der einen oder der anderen Form in die Linie gelangen, werden nur die Empfänger der einen oder der anderen Gattung Zeichen hervorbringen. Die Zahl der in dieser Weise durchführbaren Kombinationen ist ersichtlichermassen sehr gross, weil die oben angeführten elf Stromgattungen, wie

Digitized by Google

nicht übersehen werden darf, verschiedenen Ursprunges, d. h. von ungleichen Spannungsverhältnissen [1]) sein können und sich diesfalls nochmals spalten lassen; sie erfährt jedoch eine Beschränkung durch die Schwierigkeiten, welche sich vielfach hinsichtlich der Anpassung der Empfangsapparate ergeben.

In den meisten Fällen wird es sich bei der Anwendung verschiedener Betriebsformen innerhalb eines und desselben Schliessungskreises nur um ein Nebeneinander, nämlich um ein abwechselndes Arbeiten der ungleich angeordneten Empfänger handeln, weil ja verschiedene Stromzustände in einem Leiter nur ausnahmsweise gleichzeitig auftreten können und zwar nur unter besonderen Bedingungen, die erst bei den Besprechungen der betreffenden Einrichtungen des näheren in Betracht zu ziehen sein werden. Nach diesen Vorausschickungen darf nun wohl zu den punktweisen Darstellungen übergegangen werden.

A. Verschiedene Signalvorrichtungen auf einer und derselben Leitung. Hierhergehörige Anordnungen finden sich bereits unter den ältesten elektrischen Signaleinrichtungen der Eisenbahnen und sind bis auf die heutige Zeit ausserordentlich häufig, so dass mit ihrer erschöpfenden Darstellung ganze Bände gefüllt werden könnten; an dieser Stelle wird es jedoch genügen, lediglich die massgebenden Prinzipien durch einige Beispiele zu erläutern. Schon im Juli 1852 erlangte Eduard Tyer in England ein Patent auf ein eindrähtiges Blocksignal, das auf mehreren englischen Eisenbahnen und auch auf der Paris—Lyon—Mittelmeer-Bahn Verwendung gefunden hat. Mit dieser Einrichtung konnten auf einer einzigen Leitung — bis dahin hatte man ähnliche Leistungen nur bei Aufwendung mehrerer Leitungen für möglich gehalten — zwei Paar sichtbare und verschiedene hörbare Signalzeichen erteilt werden. Davon lauteten die beiden ersteren „Strecke besetzt" und „Strecke frei" und wurden durch zwei

[1]) Der Gedanke, Ströme verschiedener Art oder verschiedenen Ursprunges für die Doppelbenützung von Leitungen auszunützen, reicht übrigens weit in frühere Zeiten zurück. So wollte beispielsweise E. Highton nach seinem Patente vom 7. Februar 1850 ein Galvanoskop und einen elektrischen Wecker in dieselbe Leitung einschalten und das erstere mit galvanischen, den letzteren mit Induktionsströmen arbeiten lassen. Siemens dachte 1856 an die Verwendung von „konstanten" und „oscillierenden" Strömen nebeneinander, und in demselben Jahre schlug Schefczik vor (vergl. Zeitschrift des Oesterr. Ingenieurvereins, Bd. 8, p 115), mit einer Batterie aus wenigen grossen und einer aus vielen kleinen Elementen auf zwei verschiedenen Empfängern in derselben Leitung gleichzeitig Zeichen hervorzurufen u. s. w.


Digitized by Google

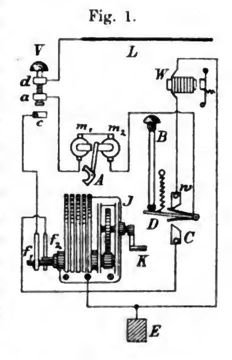
in einem Apparatkästchen übereinander angebrachte Zeiger dargestellt, die von dem polarisierten Anker je eines Elektromagnetes in zwei deutlich voneinander unterschiedenen Stellungen, wovon die eine „besetzt“, die andere „frei“ bedeutete, gebracht wurden. Der oberhalb angebrachte, schwarz bemalte Zeiger galt als eigentliches Blocksignal, der untere, rot bemalte Zeiger als Quittungs- oder Rückmeldesignal. Die Bethätigung des schwarzen Zeigers geschah für das Signalzeichen „besetzt“ durch den positiv gerichteten, für das Zeichen „frei“ durch den negativen fremden Strom, jene des roten Zeigers in gleicher Weise durch den verschieden gerichteten eigenen Strom. Dabei bleibt im Auge zu behalten, dass in der Blocksignallinie die Signalgebung nur zwischen zwei Nachbarposten Platz greift, wo die Signalwärter mit denselben Empfangsapparaten, denselben Gebern und Stromquellen ausgestattet sind. Wenn von einem der beiden Signalposten mehrere Ströme derselben Richtung hintereinander abgesendet wurden, so besorgte nur der erste die Umstellung des schwarzen Zeigers beim Nachbarposten, aber sowohl der erste Strom wie alle späteren brachten eine elektrische Glocke zum ertönen. Ein, zwei oder mehrere Glockenzeichen gaben wieder verschiedene Signalbegriffe. Anfänglich war nur eine Glocke eingeschaltet, die sowohl durch die positiven als negativen Ströme thätig gemacht wurde; späterhin benützte man zwei Glocken ungleichen Tones, deren Ansprechen von der Richtung der Ströme ebenso abhängig war, als die Stellung der Zeiger, wodurch es möglich war, die hörbaren Signalzeichen deutlicher und zahlreicher zu gestalten (vergl. Langdon, The application of Electricity to Railway Working, p. 51). In ganz verwandter Weise haben auch alle späteren englischen Blocksignalkonstrukteure, wie Walker, Spagnoletti, Preece, Sykes u. a., sowie die Franzosen Regnault, Marqfoy, Tessè & Lartigue, von den Strömen ungleicher Richtung Gebrauch gemacht (vergl. Zetzsches Handbuch der Telegraphie, Bd. IV, p. 668 bis 692).

Bei dem in Deutschland allgemein verwendeten Siemens & Halskeschen Blocksignal ist es der bekannte Simenssche Magnetinduktor, welcher zwei verschiedene Stromformen liefert, von welcher die eine zur Bethätigung der Verschlussvorrichtungen, bezw. zur Durchführung der Signale „Strecke besetzt“ und „Strecke frei“, die anderen hingegen zur Erteilung von Weckersignalen dienen. Aus dem Stromlaufschema, Fig. 1, eines Siemens & Halskeschen Blockpostens einfachster Anordnung lässt sich leicht ersehen, wie der Magnetinduktor seiner Doppelaufgabe entspricht. Vorauszuschicken ist nur noch, dass

Digitized by Google

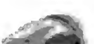
die Drahtwindungen des Induktorankers mit dem einen Ende an die Ankerachse, mit dem anderen an den Körper des Induktorgestelles, bezw. an Erde anschliesst. Als Stromabnehmer dienen die beiden Schleiffedern f_1 und f_2; davon lehnt sich die letztere gegen einen vollrunden Achsenteil, die erstere jedoch gegen eine halb durchgefeilte Stelle. Die Schleiffeder f_2 wird sonach — in einen geschlossenen Leitungskreis eingefügt — alle bei der Drehung des Induktorankers entstehenden Ströme, f_1 hingegen nur jeden zweiten Strom annehmen, d. h. über f_2 werden Wechselströme, über f_1, in halb so rascher Aufeinanderfolge, gleichgerichtete Ströme abgesetzt. Wenn sonach vom Nachbarblockwärter — wo sich ganz dieselben Apparate und leitenden Verbindungen vorfinden — beispielsweise Wechselströme entsendet werden, so gelangen dieselben über die Leitung L, durch den Läutetaster V über d und a in die Elektromagnete m_1, m_2 des Verschlussapparates, um dann über D, w, den Wecker W und zur Erde E ihren Weg fortzusetzen. Unter dieser Voraussetzung werden die beiden einschenkeligen, mit Polschuhen versehenen Elektromagnete m_1, m_2, welche einen gemeinsamen, polarisierten Anker A besitzen und behufs Erfüllung ihrer Aufgabe, d. i. zur Erteilung des Frei- und Haltsignals, einer grösseren Anzahl aufeinanderfolgender Wechselströme bedürfen, thätig gemacht, indessen der Wecker unthätig bleibt. Letzteres kommt davon, dass der Weckerelektromagnet, weil sich die einzelnen Wechselströme äusserst rasch folgen, sozusagen während der ganzen Stromgebung dauernd magnetisch verhält, weshalb die Abreissfeder seines Ankers gar nicht zur Wirksamkeit gelangen kann. Kämen jedoch vom Nachbarblockwärter gleichgerichtete Ströme, so gehen sie allerdings denselben Weg, wie vorher die Wechselströme, allein höchstens der erste derselben wird den Anker A der Elektromagnete m_1, m_2 einmal umlegen können, was für die eigentliche Wirksamkeit des Signal- und Verschlussapparates, der zu seiner Auslösung, wie schon oben hervorgehoben wurde, eine ganze Reihenfolge von Wechselströmen erfordert, von keinerlei Rückwirkung ist, während die hinterher folgenden, gleichgerichteten Ströme den Anker von m_1, m_2 überhaupt nicht mehr beeinflussen können. Dafür aber wird der

Fig. 1.



Wecker W bei jedem dieser Ströme einen Glockenschlag hervorbringen. Entsendet werden die Wechselströme, indem durch Niederdrücken des Blockiertasters B der Kontaktarm D auf C gelegt und zugleich die Induktorkurbel K angetrieben wird. Diese Ströme passieren nach dem gewählten Beispiele sowohl den eigenen als den fremden Verschlussapparat m_1, m_2, während die Weckerströme, welche durch Niederdrücken des Tasters V und gleichzeitiges Antreiben des Induktors verschickt werden, nur den Wecker des Nachbarblockwärters in Thätigkeit setzen, weil sie von f_1 über c und d gleich den direkten Weg in die Leitung L finden. Wenn dem Siemensschen Magnetinduktor ein entsprechend angeordneter Kommutator vorgelegt wird, der allenfalls gleich von der Kurbelachse gesteuert werden kann, so lassen sich auch noch gleichmässige Reihen von langdauernden Wechselströmen erzeugen, wie es beispielsweise bei Hattemers Blocksignalen geschieht (vergl. Dr. Rölls Eisenbahnencyklopädie, Bd. II, p. 608). Mit Hilfe solcher Ströme könnte allenfalls auch noch eine dritte Signalbetriebsweise auf einer und derselben Leitung durchgeführt werden.

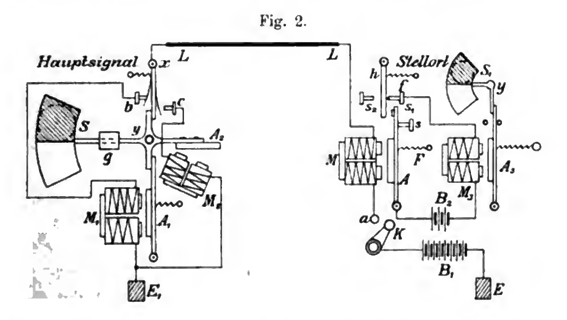
Wesentlich anders als in den bisher betrachteten Fällen sind verschiedene Stromzustände bei dem Pope & Hendricksonschen Signal der Electric Railroad Company in New York ausgenützt, welches auf amerikanischen Eisenbahnen als Stationsdeckungssignale, als Tunnel-, Drehbrücken-, Blocksignal u. s. w. Verwendung findet. Das eigentliche Signal S, dessen zugehörige Stromführungen Fig. 2 ersichtlich macht, ist in Wirklichkeit eine aus zwei weissen und zwei roten Glastafeln zusammengesetzte Kreuzscheibe von ca. 30 cm Breite, die, je nach ihrer Lage, eine Doppelbrille, weiss oder roth — entsprechend den Signalbegriffen safety (frei) und danger (halt) — erscheinen lässt, welche in der Vorderwand eines von einer Säule getragenen Signalkastens eingeschnitten ist. Vermöge des Uebergewichtes g der um y drehbaren Farbenscheibe nimmt sie während der Ruhelage, d. i. bei stromloser Linie, stets die Lage für halt ein. Will der Signalmann frei geben, dann legt er die Kurbel K auf a, worauf der Strom der Batterie B_1 über M, L, x, b in den Elektromagnet M_1 gelangt und der Anker A_1 der Signalscheibe den Antrieb erteilt, sich in die gewünschte Signallage zu drehen. In dieser neuerworbenen Lage wird die Farbenscheibe mit Hilfe eines mit ihr steif verbundenen Ankers A_2 und eines Elektromagnetes M_2 festgehalten, welch letzterer gelegentlich der Signalumstellung durch Unterbrechung des Stromweges bei b und Schliessung desselben bei c an Stelle des Elektromagnetes M_1 eingeschaltet wurde. Die Spulen-



Digitized by Google

windungen von M_2 sind übrigens aus dünnerem Draht hergestellt, als jene von M_1 und haben einen wesentlich grösseren Widerstand, demzufolge hat der nach der Signalumstellung in M — einem Elektromagneten, der in jenem Dienstraume aufgestellt ist, von wo aus das Signal gehandhabt wird — zurückbleibende Strom eine wesentliche Abschwächung erfahren. Wird die Leitung L durch Oeffnen des Kurbelkontaktes K, a wieder stromlos gemacht, dann fällt A_2 von M_2 ab und die Farbenscheibe stellt sich von selbst in die normale Haltlage zurück. Es ist von begreiflicher Wichtigkeit, diese Vorgänge am Stellorte des Signals, der von letzterem in der Regel Hunderte von

Fig. 2.



Metern entfernt liegt, genau überwachen zu können. Zu diesem Zwecke befindet sich daselbst der kleine, vom Elektromagneten M_3 gestellte Zeichenapparat S_1, ein sogenanntes Signal repeater (Wiederholungs-, Nachahmungs- oder Rückmeldesignal), dessen Lage mit jener des Hauptsignals stets genau übereinstimmen soll. Dies zu erzielen, ist ferner ein Kontakthebel h vorhanden, den die Spannfeder f für gewöhnlich an die Kontaktschraube s_1 drückt. Dem Hebel h liegt der von seiner Abreissfeder F auf die Stellschraube s gepresste Ankerhebel A gegenüber. Beim Umstellen des Signals von halt auf frei muss im Augenblicke des Stromschlusses der Elektromagnet M kräftig genug sein, um durch A beide Spannfedern F und f zu überwinden, nämlich h von s_1 auf s_2 zu legen; wenn jedoch die Freistellung richtig eingetreten, d. h. der Elektromagnet M_2 in die Linie eingeschaltet worden ist, dann braucht die gesunkene Kraft von M nur mehr die Spannung von F zu überwinden. Wenn die beiden benannten Federn dieser Bedingung gemäss einreguliert sind, wird während der Freilage des

Digitized by Google

Signals S auch der Rückmelder S_1 frei anzeigen, weil hiebei über A und h der Schliessungskreis einer Ortsbatterie B_2 geschlossen ist. Sobald das Hauptsignal sich wieder auf halt zurückbegibt, wird auch die Ortsbatterie wieder unterbrochen und S_1 die Haltlage einnehmen. Wie zu ersehen, erfolgt also vorliegenden Falles die Rückmeldung durch Verminderung des eigentlichen Betriebsstromes.

Verwandte Anordnungen finden sich auch in Oesterreich-Ungarn, wo sehr häufig elektrisch betriebene, als vorgeschobene Stationsabschlusssignale, Tunnel-, Brücken- nnd sonstige Deckungssignale dienende Wendescheiben oder auch Flügelsignale in Verwendung stehen, mit denen den Eisenbahnzügen die Fahrt erlaubt oder verboten werden kann. Zu diesen Signalvorrichtungen gehören stets auch wieder Rückmeldesignale, die hier durch das Geklingel eines Weckers gegeben werden, dem mitunter auch noch ein Galvanoskop oder sonst ein Apparatchen beigegeben ist, das die Läutezeichen durch sichtbare unterstützt. Dieser Wecker soll läuten, solange sich das Signal in der Stellung auf „Verbot der Fahrt“ befindet, sonst aber schweigen. In der Regel sind für die beiden Signalbetriebe eigene Leitungen vorhanden, mitunter wird aber auch mit nur einer Leitung für das Signalstellen und für die Rückmeldung das Auslangen gefunden, sei es, dass die erstgedachte Verrichtung mittels Induktionsströmen bewerkstelligt wird, während die Klingeln natürlich mit dem Ruhestrom einer galvanischen Batterie betrieben sind, oder dass diese Controlbatterie zum Signalgeben mittels eines Stromwenders umgekehrt wird u. s. w. (vergl. Zetsche, Handbuch der Telegraphie Bd. IV, p. 562 bis 572).

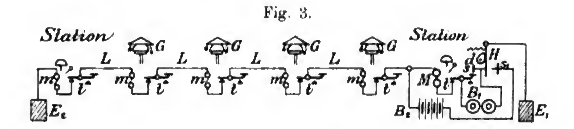
Endlich wäre hier noch einer eigentümlichen Siemens & Halskeschen Läutewerksschaltung Erwähnung zu machen, welche zuerst 1882 in den Gotthardtunnelstrecken Anwendung fand, jüngster Zeit aber auch auf anderen Bahnen, so z. B. auf den neuen Linien der Paris—Lyon—Mittelmeer-Bahn benützt wird. Auch bei dieser Einrichtung werden auf derselben Leitung zweierlei Stromformen angewendet, jedoch nicht in der Absicht, eine zweite Leitung zu ersparen, sondern lediglich nur aus betriebstechnischen Gründen. Bekanntlich wird auf einem grossen Teil der europäisch-kontinentalen Eisenbahnen der Abgang jedes Zuges von Station zu Station mittels elektrisch auslösbarer, durch Gewichtslaufwerke betriebener Läutewerke angekündigt, wobei sämtliche Wärterposten der Zwischenstrecke, insofern sie mit einem solchen Läutewerk ausgerüstet sind, die betreffenden Signale gleichzeitig empfangen. Sollen nun auch bei den Bahnwärtern derartige



Digitized by Google

durchlaufende Läutesignale abgegeben werden können, dann muss entweder jeder dieser Streckenposten seine eigene Stromquelle erhalten, was sehr kostspielig ist und auch bezüglich der Unterhaltung viele Misslichkeiten mit sich bringt, oder es muss in der Linie die Ruhestrom- oder die Gegenstromschaltung benutzt werden. Vorliegenden Falls ist Ruhestrom mit Arbeitsstrom kombiniert. Ruhestrom von angemessener Stärke hat nämlich das Ueble, in den Läutewerkselektromagneten störende Remanenzerscheinungen hervorzurufen und auch zufolge seiner unvermeidlichen Schwankungen eine fleissigere, sorgsamere Beaufsichtigung der Anlage nötig zu machen, als Arbeitsstrom. Bei der in Fig. 3 dargestellten Läutewerksanlage sind nun die Abreissfedern der Elektromagnete m so stark gespannt, dass die Anker, welche das Laufwerk der zugehörigen Läutewerke auszulösen haben, auf den für gewöhnlich in der Leitung L, L, L ... vorhandenen schwachen Ruhestrom, den die in einer der

Fig. 3.



Abgrenzungsstationen aufgestellte, aus Meidingerelementen bestehende Batterie B_1 liefert, nicht ansprechen. In derselben Station befindet sich ferner im Telegraphenzimmer ein kleines Läutewerk (Bureauschlagwerk) oder auch bloss ein elektrisch auslösbares Uhrwerk, dessen Elektromagnet M mit wesentlich längeren und dünndrähtigeren Spulen versehen ist, als die übrigen Elektromagnete m und der daher vom normal vorhandenen Ruhestrome genügend erregt wird, um seinen Anker angezogen zu halten. Erfolgt mittels eines der Taster t die Linien- bezw. Stromunterbrechung, so reisst lediglich der Anker des Läutewerkes M ab und bewirkt sonach eine Auslösung des zugehörigen Laufwerks. Auf einer der Achsen des letzteren sitzt ein Daumen d, der bei der Achsenumdrehung den Kontakthebel H auf die Kontaktschraube s_1 legt, wodurch die Batterie B_1 ausgeschaltet und dafür die wesentlich stärkere, aus grossplattigen Leclanchéelementen bestehende Batterie B_2 vorübergehend eingeschaltet wird. Erst dieser kräftige Strom bewirkt nunmehr an den Elektromagneten m die Ankeranziehung, welche die Auslösung des Läutewerks mit sich bringt. Der Arbeitsstrom besorgt also die eigentliche Signalgebung.

während der Ruhestrom nur den Vermittler vorstellt, der es ermöglicht, von jedem Punkte der Leitung aus, wo ein Unterbrechungstaster eingeschaltet ist, durchlaufende Signale zu geben. Als Sender dienende Laufwerke können nach Befinden wohl auch in den beiden Grenzstationen einer Strecke aufgestellt sein, selbstverständlich müssen in einem solchen Falle die beiden Leclanchébatterien B_2 hinsichtlich ihrer Polarität so eingeschaltet sein, dass sich ihre Ströme addieren.

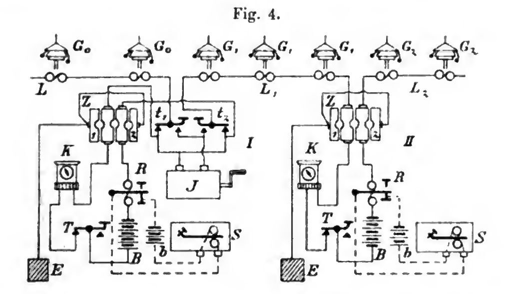
B. Die Signalgebung auf Telegraphenleitungen. Auch die in dieses Gebiet gehörigen Anwendungen sind sehr alt, denn schon unterm 3. August 1849 konnte Rier, Telegrapheninspektor der Thüringischen Eisenbahn und einer der hervorragendsten Pioniere im Bereiche der elektrischen Eisenbahneinrichtungen, seiner Direktion berichten, dass es ihm gelungen sei, die Sprechapparate und die Läutewerke statt, wie bis dahin in zwei getrennten Leitungen, in einer einzigen Leitung mit derselben Batterie zu betreiben. Es waren zu dem Ende, wie O. Sesemann in der Elektrotechnischen Zeitschrift vom 1. August 1890 bekannt gibt, die Telegraphenapparate, nämlich Leonhardsche Zeigerwerke, auf Ruhestrom geschaltet und durch Stromunterbrechung bewegt, wogegen die Auslösung der Läutewerke durch Umkehrung des Linienstromes geschah.

Eine andere Form, denselben Zweck zu erreichen, trat zu Tage als man, insbesondere in Norddeutschland, anfing, bald nachdem 1856 Werner Siemens den Cylinderinduktor erfunden hatte, denselben als Stromquelle für den Betrieb der Läutewerke einzuführen. Wie es scheint, war es zuerst Karl Frischen gewesen, der auf einigen Linien der hannöverischen Staatsbahnen die neuerrichteten Läutewerke G_0, G_1, G_2 . . . (Fig. 4) direkt in die daselbst bereits vorhandene Morseleitung eingeschaltet und mit Auslöseelektromagneten versehen hat, die vermöge der gewählten Elektromagnetspulen und der starken Spannung der Ankerabreissfedern gegen den in der Morselinie vorhandenen normalen Ruhestrom unempfindlich blieben. Als Morseeinrichtung gab es in jeder Station ganz nach gewöhnlicher Anordnung eine als Umschalter eingerichtete Blitzplatte Z, ein Relais R, eine Linienbatterie B, den Morseschlüssel T und ein Galvanoskop K, sowie eine Ortsbatterie b und den Morseschreiber S. Nunmehr erhielt jede zweite Station auch noch einen Magnetinduktor J, mit dem sowohl für die von ihnen fortgehenden, als für die von den beiden Nachbarstationen kommenden Züge die Läutesignale zu erteilen waren. Jeder Induktor hatte zwei Taster t_1 und t_2, welche während ihrer Ruhelage einen kurzen Weg von den beiden einmündenden Leitungen L und

Digitized by Google

L_1 zur Blitzplatte herstellten, niedergedrückt jedoch die Spule des Induktorankers zwischenschalteten. Sollte beispielsweise von Station II ein Zug nach I hin abgehen, so meldete II dies telegraphisch nach I und steckte nach erfolgter Vereinbarung einen Schaltstöpsel in das Loch 1 der Blitzplatte Z, wodurch die Linie L_1 an Erde gelegt war. Dasselbe machte der Beamte in I, indem er seinen Schaltstöpsel in das Loch 2 brachte; sodann drückte er den Taster t_2 und gab durch

Fig. 4.



das Drehen der Induktorkurbel die zur Auslösung der Läutewerke geeigneten Ströme ab, worauf in II und I der Erdschluss wieder beseitigt wurde. Dass diese Doppelbenützung der Telegraphenleitung eine schwerfällige und bei regerem Zugsverkehr nicht mehr zweckdienlich gewesen ist und längst aufgelassen wurde, lässt sich leicht begreifen, allein sie hat die im nächsten Absatze zu betrachtende Ausnützung der Signalleitungen für die Telegraphie angebahnt und damit wirklich nennenswerte wirtschaftliche Erfolge eingeleitet.

Etwas Aehnliches schuf in Oesterreich Johann Schönbach, als ihm 1862 von der Kaiserin-Elisabeth-Westbahn die Aufgabe gestellt worden war, eine auf der Strecke Lambach-Gmunden vorhandene, für Arbeitsstrombetrieb eingerichtete Morseleitung zum Betriebe von Läutewerken mitzubenützen. Zu diesem Behufe wurde vorerst die Linie mit Ruhestrom versehen, dessen Unterbrechungen die Läutesignale (Glockensignale) hervorzurufen hatten; zur Erzeugung der Morsezeichen diente hingegen eine Stromverminderung, bei welcher die Anker der Läutewerke noch nicht abfielen, wohl aber die Anker der Morserelais, deren Abreissfedern demgemäss stärker gespannt waren, als jene der Läutewerkselektromagnete. Um die zur Hervorrufung der Morsezeichen erforderlichen Stromschwächungen zu bewirken, war

Digitized by Google

neben jedem Morsetaster ein Rheostat angebracht und zwischen Achse und Ruhekontakt eingeschaltet. Beim Niederdrücken des Morsetasters wurde sonach die Linie nicht unterbrochen, sondern lediglich ihr Widerstand vermehrt. Diese Art der Doppelbenützung von Leitungen hat späterhin eine nennenswerte Verbreitung gefunden und wird im nächsten Absatze nochmals darauf zurückzukommen sein.

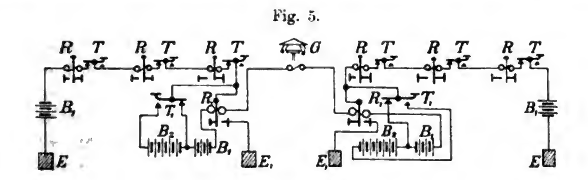
Eine jüngere hierhergehörige Anwendung findet sich seit Beginn der achtziger Jahre auf der französischen Nordbahn, welche zu dieser Zeit auf ihren Hauptlinien die bis dahin im Gebrauche gestandenen Brèguetschen Zeigertelegraphen durch Morsesche Schreibtelegraphen ersetzte. Mit den hierdurch verfügbaren Zeigerwerken wurden auf den wichtigeren Linien sogenannte Bahnwärter- oder Streckentelegraphen eingerichtet, deren Leitungen in den Stationen zur Erde gelegt sind. Jede Station besitzt nebst dem gewöhnlichen Brèguetschen Apparatsatz und der Batterie noch einen sehr drastisch wirkenden Alarmwecker, welch letzterer lediglich dann in Thätigkeit zu setzen ist, wenn ein Streckenposten mit einer Station in telegraphischen Verkehr treten will. Zum Telegraphieren und zum Thätigmachen eines kleinen Anrufweckers dienen lediglich positive Ströme, während die Alarmwecker nur auf negativ gerichtete Ströme ansprechen.

Eine von A. Prasch erdachte Doppelausnützung (vergl. Elektrotechnische Zeitschrift 1886, p. 121) trägt dem Umstande Rechnung, dass hie und da auf Nebenbahnlinien, welche mit keinen Läutewerkssignalen ausgerüstet sind, an einer oder der anderen ausnahmsweise gefährdeten Bahnstelle, beispielsweise an stark benützten Bahnüberwegen, Wärterposten errichtet werden müssen, für die es wichtig ist, seitens der nächsten Stationen den Abgang der Züge signalisiert zu erhalten. Ist die fragliche Bahnlinie mit einer auf Ruhestrom geschalteten Morselinie versehen, so ermöglicht die in Fig. 5 ersichtlich gemachte Anordnung ganz leicht den Betrieb einzelner zwischengeschalteter Läutewerke. In der Zeichnung sind die Telegraphenstationen lediglich durch das Relais R und den Morsetaster T angedeutet; den zum normalen Telegraphenbetrieb erforderlichen Ruhestrom liefern die Batterien B_1, welche in jeder beliebigen Station aufgestellt werden können. Jene zwei Stationen jedoch, zwischen denen sich Läutewerke befinden, erhalten jedenfalls eine Linienbatterie B_1 und ausserdem eine etwa aus der doppelten Elementenzahl bestehende Verstärkungsbatterie B_2, sowie nebst dem gewöhnlichen Morseapparatsatz noch einen Morsetaster T_1 und ein Morserelais R_1, die beide für

Digitized by Google

Arbeitsstrom eingerichtet sind. Von R_1 ist die Ankerfeder so stark gespannt, dass die Ankerlage durch den normalen Ruhestrom nicht beeinflusst werden kann. Die Morsezeichen werden nach gewöhnlicher Weise durch die Gebrauchsnahme der Unterbrechungstaster T hervorgerufen, sind jedoch Läutesignale zu geben, so geschieht dies mit Hilfe des Tasters T_1. Gäbe z. B. die linksliegende Station das Läutesignal, so entsteht daselbst nach dem Niederdrücken des Tasters T_1 eine Vermehrung des Normalstromes der Linie durch den Strom der Batterie B_2. Diese Stromvermehrung reicht hin, in beiden Nachbarstationen an den Relais R_1 die Anker zur Anziehung zu bringen, so dass sie den an Erde liegenden Kontakt schliessen. Der im Momente dieses Erdschlusses entstehende kurze Stromweg geht von E_1 über

Fig. 5.



den Relaishebel von R_1 zur Achse des Tasters T_1, zu dessen Arbeitskontakt, über B_2, B_1, die Spulen von R_1 in die Leitung, durch den Elektromagnet des Läutewerkes G und in der Nachbarstation weiter über die Spule von R_1, über B_1, den Ruhekontakt von T_1 zur Achse von T_1, zum Relaishebel von R_1 und schliesslich gleichfalls zur Erde. Ganz derselbe Schliessungskreis entsteht hinüber wie herüber, je nachdem die linksseitige oder rechtsseitige Nachbarstation das Läutesignal gibt. Wie man sieht, wirken im Kurzschlusse die Batterien B_1 und B_2 der signalisierenden Station und ausserdem die Batterie B_1 der anderen Nachbarstation gemeinschaftlich lediglich auf den Elektromagnet des Läutewerkes, wodurch dessen Auslösung erfolgt, weil eben seine Spulen und die Spannung der Ankerabreissfeder diesem verstärkten Strome angepasst sind. Wäre eine der beiden Nachbarstationen des Läutewerkes zugleich Endstation der Morselinie, so braucht daselbst ausser dem gewöhnlichen Morseapparatsatze nur die Verstärkungsbatterie B_2 und der Signaltaster T_1, aber kein Relais R_1 vorhanden zu sein.

Ein praktisches Beispiel der Doppelausnützung einer Ruhestrom-Morselinie bietet unter anderem auch die als Nebenbahn betriebene

Digitized by Google

Kremsthalbahn. Zwei Maschinenstationen dieser Bahn, welchen die Beistellung von Hilfsmaschinen und Reservelokomotiven obliegt, sind mit je einem Wechselstromwecker ausgerüstet, der beiläufig wie der Anrufwecker einer Telephonlinie angeordnet und mit einer Abfallscheibe versehen ist. Letztere schliesst, wenn sie niederfällt, eine Ortsbatterie, welche zwei Rasselwecker thätig macht, von denen der eine in der Wohnung des betreffenden Beamten und der zweite im Dienstraume des Stationswärters angebracht ist. Das Thätigwerden dieser Weckereinrichtung gilt als Aufforderung, eine Lokomotive zu entsenden. Die Wechselstromwecker sind ohne weiteres in die Morselinie eingeschaltet, da sie von dem darin normal herrschenden Ruhestrom nicht in Gang gebracht werden können. In geeignet gelegenen Zwischenstationen der Morselinie befinden sich jedoch Siemenssche Magnetinduktoren, welche nach Art gewöhnlicher Läuteinduktoren mittels Taster nach rechts oder links in die Morselinie eingeschaltet werden können und Ströme liefern, wie sie die obgedachten Wechselstromwecker erfordern. Tritt irgendwo auf der Strecke die Notwendigkeit ein, eine Hilfsmaschine herbeizurufen, so geschieht dies sonach durch Vermittelung derjenigen Induktorstation, welche der Unfallstelle zunächst liegt. Die erste Alarmierung erfolgt durch Anwendung des Induktors; die weiteren Klarlegungen geschehen dann mittels des Telegraphen. Zweck der Einrichtung ist, für alle Fälle die Herbeirufung der Lokomotive zu sichern, obwohl in den Maschinenstationen nur ein Beamter den Dienst leistet und vielfach durch anderweitige Obliegenheiten verhindert wird, dem Telegraphen seine Aufmerksamkeit zuzuwenden.

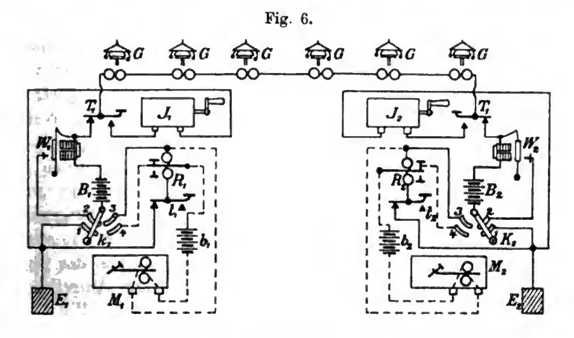
C. **Das Telegraphieren auf Signalleitungen.** Diese Form von Doppelausnützungen, welche sich unmittelbar aus der soeben besprochenen entwickelt hat, weicht von dieser gleichwohl insoferne ab, als es sich nunmehr um Leitungsanlagen handelt, die ausdrücklich für Signalisierungszwecke errichtet und bestimmt sind, aber nebenbei auch zum Telegraphieren verwendet werden sollen, während bei den unter B. eingegliederten Fällen gerade das umgekehrte Verhältnis obwaltet.

Der von Frischen unternommene Versuch (vergl. p. 266) hatte in Deutschland schon wenige Jahre hinterher sehr eifrige Nachahmung gefunden und Hand in Hand damit mehrfache, wertvolle Vervollkommnungen erfahren, derart, dass es schliesslich zur Regel wurde, alle neuerstandenen Läutewerkslinien gleichzeitig für die Mitverwendung zum Morsetelegraphieren einzurichten. Die Grundtype der Stromlauf-

Digitized by Google

anordnung für solche Einrichtungen, welche vorwiegend bei den deutschen Eisenbahnen zur Anwendung gelangte, stammte aus dem Konstruktionsbureau von Siemens & Halske (Berlin) und ist in Fig. 6 — unter Weglassung der Nebenapparate (Blitzschutzvorrichtung, Linienwechsel, Galvanoskop) — schematisch dargestellt. Es bleibt hierzu vorerst nur nochmals ins Auge zu fassen, dass die in Betracht gezogenen Läutelinien bloss von Bahnstation zu Bahnstation laufen und daselbst an Erde gelegt sind. Zur Auslösung der Läutewerke G dienen kräftige Arbeitsströme, welche Siemenssche Magnetinduktoren J_1, J_2 liefern; der Betrieb des Morse erfolgt hingegen mit Hilfe eines dauernden Batteriestromes. Bei der Ruhelage aller Apparate liegt in der Station I wie in II die Umschaltekurbel auf den Kontaktspangen 1

Fig. 6.



und 2; es wird sonach ein Ruhestrom in der Läutelinie vorhanden sein, der von B_1 über den Wecker W_1, den Taster T_1, die sämtlichen Läutewerke G, ferner in II über T_1, W_2, B_2, K_2, 2, 1, E_2 und in I von der Erde E_1 über 1, k_1 seinen geschlossenen Weg findet. Demzufolge sind die Anker der beiden Wecker W_1 und W_2 angezogen und dieselben bleiben unthätig. Will aber beispielsweise die Station I die Nachbarstation II rufen, so legt der Beamte daselbst seine Umschalterkurbel k_1 langsam auf die Kontaktspangen 3 und 4, wodurch das Morserelais R_1 und der Morsetaster t_1 in die Linie gebracht, sowie gleichzeitig die Ortslinie des Morseschreibers, welche während der Ruhelage des Umschalters zur Schonung der Ortsbatterie b_1 absichtlich bei 4 unterbrochen ist, hergestellt wird. Während der Zeit, wo k_1 auf dem Wege von links nach rechts weder die einen noch die

anderen Kontaktspangen berührt, besteht in der Linie eine Unterbrechung, welche es mit sich bringt, dass in II der Wecker, da er durch seinen abreissenden Anker mit B_2 in einen kurzen Schluss (B_2, W_2, 2, K_2) gelangt, läutet. Dieses Läuten bildet den Anruf und veranlasst den Beamten in II, seine Umschalterkurbel K_2 gleichfalls auf 3, 4 umzulegen, worauf die ganze Linie zum Telegraphieren in Ordnung gebracht ist. Die in gewöhnlicher Art als Unterbrecher eingerichteten Morseschlüssel t_1 und t_2 dienen als Sender, die Relais R_1 und R_2, bezw. die Morseschreiber M_1 und M_2 als Empfänger. Die Wecker können beim Telegraphieren nicht mitspielen, da ihre Anker für den schwachen Ruhestrom zu grosse Gangweiten besitzen. Nach Abschluss des telegraphischen Depeschenwechsels wird in beiden Stationen die Umschalterkurbel wieder in die normale Ruhelage zurückgestellt. Hiebei erfolgt allerdings momentan ein kurzer Schluss der betreffenden Linienbatterie über den Spulen des Weckers, so dass der Anker des letzteren angezogen wird; trotzdem kann sich derselbe nicht als Selbstunterbrecher in Gang setzen, weil infolge des Ruhestromes, dessen Wirkung überdies durch die Remanenz des Kernes des Weckerelektromagnetes unterstützt wird, der Anker in der angezogenen Lage verharrt. Auf diese Weise ist nach Rückstellung der beiden Umschalter dieselbe Lage sämtlicher Apparate und Stromwege wieder hergestellt, von der bei Betrachtung der Fig. 6 zuerst ausgegangen wurde, und welche die normale Ruhelage bildet. Sollen Läutesignale gegeben werden, so geschieht dies durch Niederdrücken des Tasters T_1 in I oder II und gleichzeitiges entsprechend langes Antreiben des Induktors. Zahlreich sind die aus der Grundanordnung Fig. 6 hervorgegangenen Abarten, je nachdem beispielsweise nur jede zweite Station einen Induktor enthält, oder je nachdem für die beiden Richtungen der Mittelstationen, welche auf die geschilderte Einrichtung bezogen durchwegs doppelte Endstationen sind, getrennte Morseschreiber benützt werden sollen, oder ob nur ein Morseschreiber, oder überhaupt nur ein einziger gemeinsamer Morseapparatsatz zur Verfügung steht u. s. w. Häufig findet sich der Umschalter so eingerichtet, dass die Kontaktkurbel, um das Vergessen oder Versäumen der Rückstellung hintanzuhalten, durch einen Federdruck in der richtigen Normallage (auf 1, 2) festgehalten wird. Zur Lösung dieser Verbindung braucht es dann einer gewissen Kraft und, sobald diese aufhört, geht der Umschalter selbstthätig in seine Normalstellung wieder zurück. Die Umschaltung in die zweite Lage (auf 3, 4) erfolgt bei derartigen Anordnungen gewöhnlich mittels eines unter dem



Digitized by Google

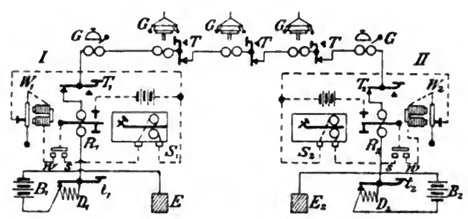
Apparattische angebrachten Tritthebels, den der Beamte im Bedarfsfalle mit dem Fusse niederdrückt. In der Regel ist es lediglich der den Zugmeldedienst betreffende Depeschenwechsel, welcher auf den Läutewerkslinien von Station zu Station abgewickelt wird; nicht selten sind jedoch auch auf der Strecke in den Läutewerks- oder in den Bahnwärterbuden noch eigene Vorrichtungen vorhanden, welche bei Unfällen oder sonstigen wichtigen Anlässen in die Läutewerkslinie eingeschaltet werden können, um zwischen dem Streckenposten und den anschliessenden Stationen einen telegraphischen Verkehr zu ermöglichen. In diesem Sinne haben beispielsweise die württembergischen Staatsbahnen alle wichtigeren Streckenwärterbuden mit Morseapparatsätzen ausgerüstet, welche für gewöhnlich in einem versperrten Wandkasten untergebracht sind. Soll der Bahnwärter eine Nachricht geben, dann öffnet er den Kasten, schaltet hierdurch auf selbstthätigem Wege seinen Apparatsatz in die Linie und ruft vorerst durch Unterbrechung des Ruhestromes die gewünschte Station mit einem Weckersignal an. Bei dieser Einrichtung sind keine Relais verwendet, sondern die Morseschreiber direkt in die Linie geschaltet, weshalb für die Zeichengebung nicht der gewöhnliche, sondern sogenannter amerikanischer Ruhestrom benützt wird (vergl. A. Hassler, Die elektrischen Eisenbahnsignale p. 42). Auch die bayerischen Staatsbahnen benützen ihre Läutelinien in der Regel zugleich für Hilfstelegraphen, doch haben hier die Wärter keine Empfangsapparate, sondern nur Sender, nämlich eine Anzahl von Kontaktscheiben, welche ebensovielen bestimmten Depeschen entsprechen, und mit deren Hilfe in ähnlicher Weise, wie bei den bekannten Feuertelegraphenautomaten, Nachrichten in Morseschrift an die angrenzenden Stationen entsendet werden können. Auf mehreren bayerischen Bahnlinien besteht auch die weitere Besonderheit, dass in den Bahnstationen für die mit der Läutelinie zusammengelegte Zugmeldeleitung nebst Hilfstelegraphen kein eigener Morseapparatsatz vorhanden ist, sondern, dass für diesen Dienst die Apparate einer zweiten, durchlaufenden Morselinie herangezogen und immer erst im Bedarfsfalle mittels eines obengedachten, demgemäss angeordneten Fussumschalters übergeschaltet werden (vergl. Zetzsche, Handbuch der Telegraphie Bd. IV, p. 437).

Wie sich Frischens Doppelausnützung der Läutelinie — gleichzeitig mit der Anwendung des Siemens schen Magnetinduktors als Stromquelle für die Läutewerke — vorwiegend in Deutschland eingebürgert hatte, so verbreitete sich in Oesterreich-Ungarn, Rumänien,

Digitized by Google

Serbien und anderweitig, wo die Läutewerke (Glockenapparate) hauptsächlich für den Betrieb mit Ruheströmen eingerichtet sind, die von J. Schönbach angegebene Doppelbenützung (vergl. p. 267), deren gewöhnliche Anordnung durch Fig. 7 versinnlicht ist. Auch in diesem Falle kommt wieder nur die zwischen zwei Nachbarstationen vorhandene und daselbst zur Erde gelegte Läutewerkslinie (Glockenlinie) in Betracht. Die Linienbatterien B_1 und B_2, welche natürlich so eingeschaltet sind, dass sie sich addieren, liefern den normalen Ruhestrom, der die Spulen der Relais R_1 und R_2, sowie der sämtlichen Läutewerke G durchfliesst und dessen Unterbrechung sowohl das Auslösen der letzteren als das Ansprechen der beiden ersteren bewirkt. Der Ortsschluss der Relais steht durch Vermittlung der Stöpselklemme w, s entweder mit dem Wecker W oder mit dem Morseschreiber S

Fig. 7.



in Verbindung, und soll für gewöhnlich immer der Weckeranschluss hergestellt sein. Wenn Signale gegeben werden, was mit irgend einem der Taster T geschieht, dann spielen die beiden Relais, d. h. die Wecker in beiden Stationen, gleichfalls mit. Das Morsesprechen geschieht mittels des Tasters t_1, bezw. t_2, der, sobald er niedergedrückt wird, an Stelle seines Kontaktarmes den Widerstandsdraht D_1 bezw. D_2 in den Schliessungskreis bringt, wodurch eine Schwächung des Normalstromes eintritt, bei welcher die Anker von R_1 und R_2 gleichfalls abreissen, nicht aber jene der Läutewerke G. Zum Telegraphieren braucht also nur in I und II der Schaltstöpsel von w auf s gesteckt zu werden, worauf die Abwickelung des Depeschenwechsels wie auf jeder anderen Morselinie erfolgt. Nach Abschluss des Morseverkehrs ist der Wechselstift in beiden Stationen stets wieder in die normale Weckerstellung zurückzubringen.

Viele Eisenbahnen, welche diese Einrichtung besitzen, haben die-

Digitized by Google

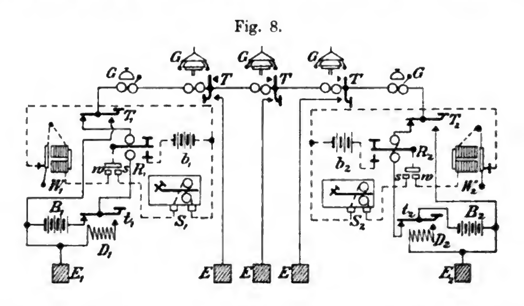
selbe dahin erweitert, dass entweder bloss die Stationen oder auch die Signalposten der Strecke nebst dem gewöhnlichen, lediglich für den Handgebrauch dienlichen Unterbrechungstaster T noch eine besondere, mit Triebwerk versehene Vorrichtung erhalten, welche nach Art der Feuertelegraphenautomaten die selbstthätige Abgabe von Läutesignalen ermöglichen. Einzelne Bahnen, wie die Kaiser-Ferdinand-Nordbahn, die Buschtehraderbahn u. a., deren Läutewerkssignalanlagen ebenfalls im Sinne der Fig. 7 eingerichtet sind, haben alle ihre Läutesignalposten der offenen Bahnstrecke nicht nur mit Handtastern und Automaten zum Abgeben von Glockensignalen, sondern auch noch mit Widerstandstastern ausgerüstet, so dass von allen diesen Stellen aus auch Morsedepeschen in die beiden' Begrenzungsstationen abgegeben werden können. Empfangsapparate sind bei den Streckenposten jedoch in der Regel nicht vorhanden, wenngleich es bei besonderen Anlässen vorkommt, dass solche, nämlich tragbare Morseapparatsätze, an beliebiger Stelle der Läutelinie in dieselbe eingeschaltet werden. Schönbach u. a. haben es seiner Zeit auch mit Erfolg versucht, auf dieser doppelt benützten Linie den Depeschendienst mit Hilfe von Uebertragungsapparaten, welche ein Durchsprechen ermöglichten, auf mehrere Stationen auszudehnen (vergl. Zetzsche, Handbuch der Telegraphie Bd. IV, p. 256—258), doch sind alle diese, mitunter höchst sinnreichen Anordnungen seit Jahren nicht mehr in Anwendung. Das Letztgesagte gilt auch von einer durch Moritz Kohn auf der Südbahnstrecke Neu-Szöny-Stuhlweissenburg eingerichteten Doppelbenützung der Läutelinie. Daselbst wurden die Läutesignale mit positiv gerichteten, die Morsezeichen mit negativ gerichteten Arbeitsströmen hervorgerufen. Jedes der Läutewerke im Stationsbureau wie auf der offenen Strecke besass zwei parallel geschaltete Elektromagnete mit polarisiertem Anker, wovon der eine die Auslösung des Läutewerkes besorgte, der andere hingegen als Relais für den Morseschreiber diente. Morseschreiber waren in der Regel nur in den Stationen vorhanden, während solche an den Streckenposten bloss bei besonderem Bedarfe in der Form eines tragbaren, aus Kasten, Anschlussklemme, Ortsbatterie und Morseschreiber bestehenden Apparatsatzes zur Aufstellung gelangten. Selbstverständlich mussten alle jene Läutewerksposten auf der Strecke, von denen aus signalisiert werden sollte, dauernd mit einer geeigneten Linienbatterie versehen sein, was hinsichtlich der Unterhaltung Schwierigkeiten machte.

Eine um mehrere Jahre jüngere Doppelbenützung der Läutewerksleitung ist von J. Gattinger erdacht und steht in ziemlich

Digitized by Google

ausgedehntem Masse auf den Linien der österr. Staatsbahnen in Verwendung. Bei diesen Einrichtungen werden die Läutesignale mittels Batteriearbeitsströmen gegeben und mit ebensolchen, jedoch abgeschwächten Strömen die Morsezeichen hervorgernfen. Während der Pausen besteht im Schliessungskreise Stromlosigkeit, welche durch Entgegenschaltung zweier gleich starker Batterien erzeugt wird. Aus der schematischen Fig. 8 lässt sich leicht ersehen, wie der Stromlauf angeordnet ist. In der Station I befinden sich ausser den in der Zeichnung weggebliebenen Nebenapparaten ein Zimmerläutewerk G, ein Signaltaster T_1, ein für Arbeitsstrom angeordnetes Relais R_1 nebst Klemmenwechsel, ein Morsetaster t_1 und eine Linienbatterie B_1. Mittels des Klemmenwechsels w, s kann der Ankerhebel des Relais — wie

Fig. 8.



es in Fig. 7 der Fall war — entweder mit dem Wecker W_1 oder mit dem Morseschreiber S_1 zur Ortsbatterie b_1 verbunden werden. Ganz übereinstimmend ist die Station II eingerichtet, und da die gleichstarken Batterien B_1 und B_2 mit dem gleichnamigen Pol an Erde gelegt sind, ihre Wirkungen sich also aufheben, so erscheint die Linie im Ruhezustande stromlos. Signale werden in den beiden Stationen mit Hilfe des Tasters T_1, bezw. T_2 gegeben; ersichtlichermassen wird durch das Niederdrücken eines dieser Taster die eigene Batterie weggeschaltet oder vielmehr gegen die Linie isoliert, dafür gelangt der Strom der Nachbarbatterie voll zur Wirksamkeit. Derselbe ist so stark, dass er sowohl die Anker der Läutewerke als die Relaisanker zur Anziehung bringt. Wird bei irgend einem Streckenposten Signal gegeben, was mit Hilfe des bei jedem Läutewerk vorhandenen Tasters T durch Herstellung eines Erdanschlusses geschieht, dann erfolgt dieselbe Auslösung der Apparate wie bei der soeben betrachteten, von

Digitized by Google

den Stationen ausgehenden Signalgebung, jedoch diesmal durch zweierlei Ströme, nämlich links vom Signalorte durch die Batterie B_1, rechts durch B_2. In beiden Fällen spielen die Wecker in den Stationen die Signale mit. Soll telegraphiert werden, so geschieht dies, nachdem vorher in I und II die Umstöpselung von w auf s stattgefunden hat, durch Anwendung des Morsetasters t_1, bezw. t_2. Wenn einer dieser Taster niedergedrückt wird, unterbricht er zuerst momentan die Linie, um sie wieder zu schliessen, sobald der Tasterhebel den Arbeitskontakt erreicht; nunmehr gelangt wieder, wie bei der Signalgebung, die Nachbarbatterie zur Wirksamkeit, allein ihr Strom ist jetzt schwächer, weil er den Widerstandsdraht D_1 bezw. D_2 passieren muss. Dieser geschwächte Strom vermag es allerdings nicht, die Läutewerke auszulösen, ist aber immerhin kräftig genug, die Anziehung der Relaisanker zu bewirken.

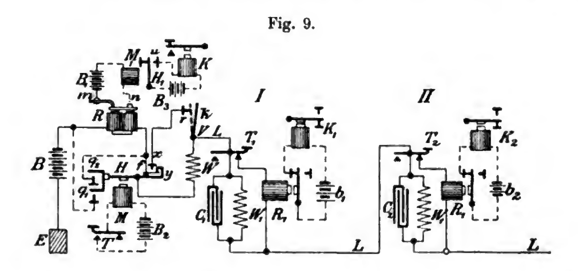
D. Die Telephonie auf Telegraphenleitungen. Sehr bald nachdem das elektrische Telephon als vielversprechendes Nachrichtenmittel bekannt und praktisch versucht worden war — wobei nicht nur an den Bellschen Apparat, sondern auch an andere verwandte, fernwirkende, elektrisch-phonische Anordnungen gedacht werden muss — hat es nicht an Bestrebungen gefehlt, dasselbe auf bestehenden Leitungen neben dem gewöhnlichen Telegraphen- oder Signalbetrieb oder gleichzeitig mit letzterem in Verwendung zu nehmen. Für beides ergab sich die gleiche Schwierigkeit, nämlich der Umstand, dass allerdings die bei der Gebrauchsnahme der Fernsprecher in die Telegraphenleitung gelangenden Induktionsströme wechselnder Richtung sich als viel zu schwach erweisen, um auf die Telegrapheneinrichtung und ihre Ausnützung irgend eine nachteilige Wirkung auszuüben, während die telephonischen Apparate durch die telegraphische Zeichengebung stets direkt oder insbesondere im Wege der Induktion störend beeinflusst werden. Es war sonach vorerst dieser Uebelstand zu bekämpfen, der sich auf allen längeren Leitungen, selbst wenn sie lediglich für Fernsprecheinrichtungen dienen sollten, höchst nachteilig geltend machte, sofern dieselben parallel neben einer oder mehreren Telegraphenleitungen liefen. Beim Suchen nach einer wirksamen Abwehr gegen diese den telephonischen Verkehr störenden Einflüsse war zur nicht geringen Ueberraschung der Beteiligten in den gefundenen Gegenmitteln zugleich der Weg entdeckt, die Telegraphenleitungen ohne jede gegenseitige Beeinträchtigung der beiden Betriebe gleichzeitig für die Telephonie mitzubenützen.

Die älteste der einschlägigen Einrichtungen ist wohl jene, mit

Digitized by Google

welcher von Elisha Gray in Chicago gegen Ende des Jahres 1876 auf mehreren Telegraphenlinien der Western-Union-Telegraph-Company die ersten erfolgreichen Versuche gemacht wurden, wozu übrigens von dem Superintendenten der genannten Gesellschaft, C. H. Haskins in Milwaukee, schon 2 oder 3 Jahre früher die Anregung ausgegangen war. Gray hatte sich die Aufgabe gestellt (vergl. Zetzsche, Journal telegraphique Bd. IV, p. 22), eine gewöhnliche Morseomnibusleitung mit 10 bis 20 hinter einander geschalteten, mit amerikanischem Ruhestrom betriebenen Telegraphenstationen zugleich als direkte Linie für sein Telephon zu benützen, d. h. während der Morsearbeit die beiden Endstationen der Linie telephonisch mit einander verkehren zu lassen, und es ist ihm gelungen, dieselbe — allerdings erst nach einigen vorausgegangenen erfolglosen Versuchen — günstig zu lösen. Die hiebei verwendete Schaltungsweise zeigt Fig. 9, und zwar eine

Fig. 9.

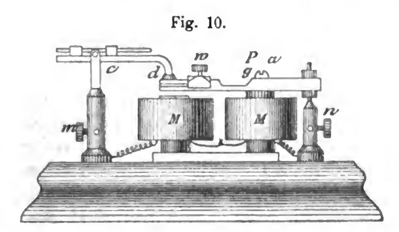


Endstation I und eine Zwischenstation II; die andere Endstation sowie alle übrigen Zwischenstationen haben genau dieselben Apparate und gleiche Anordnung wie I, bezw. II. In I gehören die von V rechtsliegenden Apparate zur Morseeinrichtung, die linksbefindlichen sowie V selbst zur Telephoneinrichtung. Zum besseren Verständnis muss hier vorerst noch erinnert werden, dass das Graysche Telephon von dem Bellschen wesentlich abweicht, indem zur Erregung des aus einem Elektromagneten mit schwingendem Anker bestehenden Empfängers Batterieströme dienen; der Sender ist gleichfalls ein schwingender Stahlstab, der jedoch nicht direkt durch die Stimme, sondern auf anderen Wegen thätig gemacht wird. Auch der Empfänger wirkt nicht unmittelbar aufs Ohr, sondern erst durch Vermittlung eines Morseklopfers. Solche Zeichenapparate sind es also, welche in Fig. 9 neben Morseeinrichtungen zur Verwendung gelangen, und der eigenartigste

Digitized by Google

und wichtigste darunter ist das Empfangsrelais R, Analyzer genannt (vergl. Dinglers polytechnisches Journal Bd. 218, p. 529 und Bd. 225, p. 46), dessen Aeusseres durch Fig. 10 besonders ersichtlich gemacht wird. Der Anker dieses Relais wird von einem verhältnismässig dicken, auf einen bestimmten Ton — etwa für 300 Schwingungen in der Sekunde — abgestimmten Stahlstab P gebildet, dessen Ende bei a auf dem einen Pole des zweischenkeligen Elektromagnets M festgemacht ist. Die Stimmung wird teils durch eine zunächst des Befestigungspunktes im Stahlstabe ausgefeilte Stelle g, teils durch Verstellen des Gewichtes w durchgeführt. An seinem freien Ende trägt P ein kleines Metallnäpfchen d, in welchem das eine Ende eines um sein anderes Ende drehbaren Kontakthebels c ruht. Dieser Hebel c ist nun auf einen anderen Ton, nämlich für einen mit kleinerer Schwingungszahl, abgestimmt als P. Wenn also der letztere in

Fig. 10.



Schwingung gerät, hüpft und klappert der Hebel c auf ihm auf und ab; dabei ist der Stromkreis einer Ortsbatterie B_1, Fig. 9, deren Poldrähte zu den Anschlussklemmen m und n, Fig. 9 und 10, des Relais R geführt sind, nicht so gut geschlossen, dass der in ihm liegende Elektromagnet M_1 eines sogenannten „Repeating Sounder", eines Apparates, der eigentlich nichts anderes ist, als ein gewöhnliches Relais, seinen Ankerhebel H_1 anziehen könnte. Letzterer legt sich demnach, wenn R arbeitet, an die Kontaktschraube u und schliesst auf diese Weise die Ortsbatterie B_3 über einen sogenannten „Reading Sounder" K, der nach Art der bekannten Morseklopfer angeordnet ist. Die Aufgabe des letzteren besteht lediglich darin, die Thätigkeit des Relais R recht deutlich wahrnehmbar zu machen, was sich durch M_1 allein nicht in dem gewünschten Masse erzielen lässt, da sein Anker H_1 nur durch Abfallen wirkt. Der telephonische Sender H wird durch den gewöhnlichen Taster T mittels der Ortsbatterie B_2 und des Elektromagnetes

Digitized by Google

M in Thätigkeit gesetzt. Der Senderhebel trägt an dem einen Ende eine gegen H isolierte Feder q_2 q_1, welche sich bei jeder Ankeranziehung auf zwei Kontaktschrauben auflegt und dadurch eine Nebenschliessung für das Relais R herstellend die Elektromagnetspulen dieses Apparates so lange aus der laufenden Linie L ausschaltet, als H intermittierende Ströme erzeugt. Während aber der Hebel H angezogen ist, entfernt die Kontaktschraube x die gegen H isolierte Feder f von dem auf H sitzenden Bügel y, so dass der normale Stromweg durch den Widerstand W unterbrochen und dafür der Stromweg f, x, r, k hergestellt wird. Ein weiterer zugehöriger Teil, der „Vibrator" V, enthält einen Stahlstab k, welcher auf denselben Ton abgestimmt ist wie der Anker des Empfangsrelais R; der Stab k liegt ganz ähnlich wie bei dem von Paul de la Cour schon 1868 erfundenen phonischen Sender die Stimmgabel, derart zwischen zwei in der Zeichnung nicht dargestellten Hufeneisenelektromagneten, dass er von ihnen abwechselnd mit gleicher Kraft nach rechts und links angezogen und dauernd in Schwingungen erhalten wird, da er bei seinem grössten Ausschlage nach der einen Seite eine kurze Nebenschliessung für den einen Elektromagnet herstellt, während der andere Elektromagnet von dem Ortsstrome durchflossen bleibt, bei seinem grössten Ausschlage nach der anderen Seite dagegen auf kurze Zeit den Stromkreis der Linienbatterie B schliesst und in diesem Falle einen kurzen Strom in die Linie L entsendet. Der vorerwähnte Widerstand W, ein gewöhnlicher Rheostat, liegt in der Linie, solange H nicht angezogen ist, und schwächt in dieser Zeit den Strom von B ebenso sehr, wie ihn die raschen Unterbrechungen schwächen, welche V währenddem veranlasst, wo H angezogen wird. Die ausserdem in I vorhandenen Apparate gehören zur Morseeinrichtung und bestehen aus einem gewöhnlichen, für amerikanischen Ruhestrom eingerichteten Morsetaster T_1, dem Relais R_1 und dem in die Ortslinie desselben geschalteten Morseklopfer K_1. Zwischen T_1 und R_1 wird durch den Widerstandsdraht W_1 eine Nebenschliessung hergestellt; die Enden von W_1 sind auch mit den Platten eines Kondensators C_1 verbunden. Ganz dieselbe Anordnung weisen die Mittelstationen auf, wie Fig. 9 ersehen lässt. Die in den Morsestationen vorhandenen Widerstände W_1 . . . sind mit ihrem zugehörigen Kondensator C_1, C_2 . . . gemeinsam in einer Büchse untergebracht; sie betragen einzeln etwa 6000 Ohm und müssen selbstverständlich höher oder geringer bemessen werden, je nach der Länge der Leitung und der Anzahl der eingeschalteten Stationen.

Die Abwickelung des telephonischen Wechselverkehrs erfolgt in

Digitized by Google

nachstehender Weise: Jene Endstation, welche den Depeschenwechsel einleiten will, gibt mittels des Tasters T gewöhnliche Morsezeichen als Anruf; so oft T niedergedrückt wird, schaltet die Feder f genau gleichzeitig W aus und V ein und stellt zugleich die Nebenschliessung über q_2 q_1 für R her. Indem der Vibrator V den Strom 300mal in der Sekunde schliesst und unterbricht, fügt er an der Unterbrechungsstelle k r gewissermassen einen Widerstand von beiläufig 1000 Ohms ein, der etwas weniger oder mehr beträgt, je nachdem die Kontaktschraube x dem Stabe k näher oder entfernter gestellt wird. Einen ebenso grossen Widerstand hat der Rheostat W zu besitzen, der also demgemäss eingestellt werden muss, damit die Stromstärke sowohl während der Arbeit als während der Ruhe des Hebels H unverändert und sonach die Benützung des Tasters T auf die Morserelais ohne jede Rückwirkung bleibt. Die Kondensatoren neben den Morserelais verhüten es, dass irgendwie von den intermittierenden Strömen ein Klappern oder Zucken der Morseanker verursacht werden könne. In der anderen Endstation wird der Anker des Relais R die Schwingungen des ihm gleichgestimmten Vibrators V der gebenden Station mitmachen, so lange in I der Taster T niedergedrückt ist. Es erscheinen also in der Empfangsstation auf dem Klopfer K unter Vermittlung von M die mit T in I gegebenen Morsezeichen, während zugleich R tönt. Die in der empfangenden Station ankommenden Ströme nehmen daselbst ihren Weg über R_1, T_1, L, W, H, y, f, R und B zur Erde. Will die empfangende Station die gebende unterbrechen, so drückt sie ihren Taster T, und nun spricht auf der gebenden Station der Klopfer K an, sobald hier der Taster T losgelassen wird. Die formale Abwickelung des telephonischen Verkehrs geschieht also ganz ähnlich wie auf einer gewöhnlichen Morselinie.

Wird in irgend einer Station der Morsetaster — beispielsweise in II der Taster T_2 — in Gebrauch gesetzt, so unterbricht das Loslassen des Tasterhebels die Linie nicht, sondern schaltet nur den Widerstand W_1 ein, und die hierdurch bewirkte Abschwächung des Linienstromes hat das Abfallen sämtlicher Morserelaisanker zur Folge. Die Morseeinrichtung arbeitet also ähnlich wie bei einigen der schon früher behandelten Doppelbenützungen mit Stromverminderung, abweichend ist nur der Umstand, dass alle Morsetaster, so lange mit ihnen nicht gearbeitet wird, auf dem Arbeitskontakt festgehalten bleiben, zur Zeichengebung aber gehoben werden, wie es eben dem amerikanischen Ruhestrom entspricht. Die telephonischen Taster liegen hingegen während der Ruhelage wie gewöhnliche Unterbrechungstaster

Digitized by Google

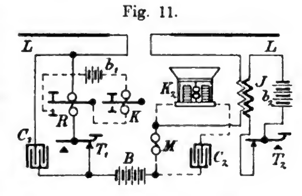
am Ruhekontakt. Störende Einwirkung auf die telephonischen Apparate in jenen Momenten, wo mit Tastern beider Betriebsgattungen gleichzeitig gearbeitet wird, verhüten die den Widerständen W_1 ... parallel geschalteten Kondensatoren, indem sie nach Anschauung Grays während der Momente, wo die Verbindung zwischen dem dazu gehörigen Morsetaster und der Linie aufgehoben ist, durch die intermittierenden Ströme stärker geladen und entladen werden und auf diese Weise den letzteren die bei der Vermehrung des Linienwiderstandes erleidenden Verluste wieder ersetzen. Der Kondensator bietet zugleich den weiteren wichtigen Vorteil, dass er im Morserelais die intermittierenden Ströme nicht fühlbar werden lässt, denn der arbeitende Vibrator ladet bei jeder Stromschliessung die Kondensatoren, und dieselben entladen sich bei jeder Stromunterbrechung wieder teilweise durch die Morserelais und füllen so die Lücke aus, welche sonst zwischen je zwei Strömen merkbar werden könnte. Strenge genommen, besitzt die Graysche Anordnung den Charakter einer Verbindung von Telephonie und Telegraphie auf einer und derselben Leitung nur akademisch, während sie in Anbetracht der Form, in welcher die Nachrichtengebung erfolgt, eigentlich der Doppeltelegraphie zuzuordnen wäre; der Erfinder selbst belegt seine durch intermittierende Ströme vermittelte Zeichengebung mit dem Namen „elektroharmonische Telegraphie". Nichtsdestoweniger musste sie in dem Absatz D und zwar an erster Stelle Betrachtung finden, weil eben Grays Einführung des Kondensators zum Ueberbrücken telegraphischer Sender eine bahnbrechende Idee gewesen ist und die Unterlage bildet für alle anderweitigen späteren Methoden der Doppelbenützung einer Linie für die gleichzeitige Telephonie und Telegraphie.

Bevor aber diese letzteren weiterverfolgt werden, bleibt noch einer Edisonschen Anordnung zu gedenken, welche mit der Grayschen grosse Verwandtschaft aufweist. Es ist dies eine in England im Juni 1885 patentierte Einrichtung Namens Phonoplex, die bei mehreren amerikanischen Telegraphen- und Eisenbahngesellschaften praktische Verwendung findet und nach dem „Engineering" vom 22. Oktober 1887, p. 412 wesentlich in nachstehendem besteht: In jeder Station sind zweierlei Morseapparatsätze neben einander in die Telegraphenleitung L L, Fig. 11, eingeschaltet; den einen Satz bildet ein Morsetaster T_1 und das in gewöhnlicher Weise eingeschaltete Morserelais R, welches durch die Ortsbatterie b_1 den gewöhnlichen Klopfer K in Thätigkeit setzt. Wie T_1 ersehen lässt, ist für diesen Satz der Betrieb mittels amerikanischen Ruhestromes vorausgesetzt, den die

Digitized by Google

Linienbatterie B liefert. Der zweite Taster liegt nicht in der Linie L L, sondern öffnet und schliesst bloss eine Ortsbatterie b_2 durch die primäre Rolle einer Induktionsspule J, deren sekundäre Rolle die hochgespannten Induktionsströme in die Linie L L sendet. Damit nicht beim Arbeiten eines Tasters T_1 in diesem der Weg für die Induktionsströme unterbrochen werde, ist in einem Nebenschlusse zu T_1 ein Kondensator C_1 angeordnet. Den Empfänger K_2 im zweiten Apparatsatze nennt Edison den „Klinger" (Phone); derselbe hat zwar seinem Aeusseren nach einige Aehnlichkeit mit einem Bellschen Telephon, dient jedoch nicht zur Wiedergabe sprachlicher Lautverbindungen, sondern zur Erzeugung von kurzen und längeren Tönen, wie sie am gewöhnlichen Morseklopfer zur Darstellung des Alphabetes benützt werden. Hervorgerufen wird das Tönen des Klingers K_2 durch das Schnellen einer trommelartig gespannten Membran gegen einen losen Stahlring. An der Membran befindet sich nämlich in der Mitte ein mit Gewinde versehener Stift, der an seinem Ende eine kleine Schraubenmutter trägt; unterhalb der letzteren liegt lose ein geschlitzter kleiner Stahlring, welcher bei plötzlicher Bewegung der Membran von der Schraubenmutter zitternd berührt wird und dadurch einen scharfen, gut wahrnehmbaren Ton gibt. Dieser Klinger K_2 hat auf die Induktionsströme anzusprechen, welche bei Anwendung der Taster T_2 entsendet werden; er ist zugleich mit einem zweiten Kondensator C_2 in einen Nebenschluss eines direkt in der Linie L L vorhandenen Widerstandes eingeschaltet, welcher durch die Rollen eines Elektromagnetes M gebildet wird. Die mittels der Taster T_2 gegebenen Zeichen bestehen aus ganz kurzen, scharf begrenzten Stromstössen, auf welchen bloss die Klinger K_2 ansprechen, weil die gewöhnlichen Morserelais R nicht rasch genug arbeiten, um auf diese momentanen Stromimpulse ansprechen zu können. Die durch die beiden verschiedenartigen Ströme hervorgebrachten Zeichen sind deutlich von einander unterschieden und hinsichtlich ihrer Tonstärke sowohl als in Bezug auf ihr Erscheinen auf den Empfangsapparaten von einander vollständig unabhängig.

Fig. 11.



Fast um dieselbe Zeit, wo Gray in Amerika sein weiter oben geschildertes System erfunden, bezw. als er dasselbe im „Journal of the American Electrical Society" (1877, Heft 2) veröffentlicht hatte,

Digitized by Google

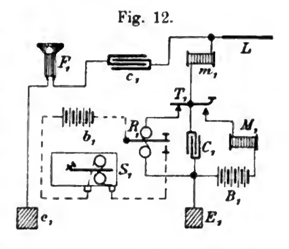
war der Gedanke, dieselben Leitungsdrähte gleichzeitig für die Telegraphie und Telephonie zu benützen, auch in Europa zu Tage getreten, wobei allerdings hinsichtlich des Fernsprechverkehrs lediglich die für die Wiedergabe von sprachlichen Lautverbindungen geeigneten Apparate, also das Bellsche Telephon und seine Nachfolger, in Betracht gezogen wurden. Schon Mitte Dezember 1877, bei Gelegenheit von Fernsprechversuchen, welche im Auftrage des deutschen Staatssekretärs Dr. v. Stephan durch Geh. Oberregierungsrat Elsasser in Dresden ausgeführt worden waren, hatte Dr. E. Zetzsche, der diese Versuche mitmachte, die Meinung aufgestellt, dass es zu einer Verbindung des Telephonierens mit der Morsetelegraphie bei einfacher Hintereinanderschaltung der betreffenden Apparate nur nötig sei, die Unterbrechungen der Linie beim Telegraphieren hintanzuhalten, was leicht ausführbar ist, wenn die Morsezeichen durch blosse Stromverstärkung oder Stromschwächung (vergl. Fig. 7) erzeugt werden (vergl. „Journal télégraphique", Bd. IV, p. 9 und „Technische Blätter" 1878, p. 15). Bei weiteren im Gebiete der deutschen Reichs-Post- und -Telegraphenverwaltung nächster Jahre erfolgten Versuchen wurde festgestellt, dass eine in mehrere Aemter eingeführte, mit Ruhestrom betriebene Morselinie gleichzeitig anstandslos für Telephone mitbenützt werden könne, wenn die telegraphierenden Aemter in einer nicht zu geringen Entfernung von den telephonierenden liegen. In so vollkommener Weise jedoch, dass der Einführung des Doppelbetriebes in die Praxis kein Bedenken mehr entgegenstand, wurde das Problem erst durch Van Rysselberghe gelöst, der beim Suchen nach Hilfsmitteln, um die für die Telephonanlagen so störenden Induktionen zu bekämpfen — wie schon in der Einleitung des Absatzes D hervorgehoben wurde — zur Doppelausnützung der Telegraphenleitungen selbst gelangte. Am 16. Mai 1882 war seine Anordnung bereits so weit vervollkommnet, dass sie ihn in stand setzte, zwei Depeschen gleichzeitig auf einem und demselben Drahte von Brüssel nach Paris abzugeben, die eine mittels des Telephons an den Minister Cochery, die andere mit Morseapparaten an den Telegraphendirektor Caël. Diese Beförderung fand morgens 8 Uhr 10 Minuten statt, also zu einer Zeit, wo das Arbeiten im allgemeinen auf den Telegraphenlinien zwischen Paris und Brüssel bereits begonnen hatte und die störenden Induktionen sonach geeignet gewesen wären, unter gewöhnlichen Verhältnissen einen telephonischen Fernverkehr überhaupt unmöglich zu machen.

Ein Van Rysselberghesches Stromlaufschema für die Doppelbenützung einer Leitung zeigt Fig. 12, worin der Uebersichtlichkeit

Digitized by Google

wegen die Nebenapparate wieder weggelassen wurden. Sowohl von den Fernsprechstellen als von den Morseämtern sind nur die zwei am einen Ende der gemeinsamen Leitung L befindlichen Stationen dargestellt, welche hinsichtlich ihrer Einrichtung mit jenen am anderen Ende genau übereinstimmen; es ist jedoch keineswegs ausgeschlossen, dass nicht auch an beliebigen Stellen der Leitung ähnlich angeordnete Zwischenstationen eingeschaltet werden. Um die Doppelbenützung zu ermöglichen, verhindert Rysselberghe vorerst, dass die zum Telegraphieren gebrauchten Stromgebungen urplötzlich in ihrer vollen Stärke auftreten und wieder verschwinden. Zu diesem Behufe legt er zwei mit einem Eisenkern versehene Drahtspulen m_1 und M_1 in den Morsestromweg, nämlich m_1 zwischen der Lagerachse des Morsetasters T_1 und der Leitung L, und M_1 zwischen dem Arbeitskontakt dieses Tasters und die Linienbatterie B_1. Ausserdem kommt zwischen dem Wege zur Erde E_1 und der Lagerachse des Morsetasters ein Kondensator C_1, welcher sich beim Niederdrücken des Tasters T_1 ladet und bei der Rückkehr des ersteren in die Ruhelage sich entladet. Hiedurch wird beim Telegraphieren in den Momenten des Stromschlusses eine gewisse Elektrizitätsmenge verbraucht, weshalb der Morsestrom in der Leitung erst etwas später, nämlich nach vollständig erfolgter Ladung der Kondensatoren C_1 seine volle Stärke erreicht. Wenn dann der Morsestrom durch den Tasterrückgang wieder aufhört, geschieht auch dies nicht plötzlich, weil an die Stelle des galvanischen Stromes der Entladungsstrom der Kondensatoren tritt. Die Zeitabschnitte, in welchen sich diese Vorgänge vollziehen, sind allerdings äusserst kurz, nichtsdestoweniger genügen sie, um in Verein mit den verzögernden Wirkungen der zwischengeschalteten Elektromagnetrollen m_1 und M_1 die störenden Einflüsse der telegraphischen Zeichengebung auf die Fernsprecher fast ganz zu beheben. Vollständig unschädlich sind diese Einflüsse gemacht, indem die Fernsprechstellen nicht unmittelbar in die Leitung eingeschaltet, sondern nur durch Vermittlung eines Kondensators c_1 angeschlossen werden. Die Telephonströme haben sonach vorliegendenfalls ihren Weg über die Kondensatoren c_1 zu nehmen, während die Telegraphierströme, angenommen, dass zwei ganz gleich eingerichtete Stationen I und II an

Fig. 12.



Digitized by Google

die Leitung L geschaltet seien, in der Station I von B_1 über M_1, T_1, m_1 und L nach II gelangen, dort über m_1, T_1, R_1 zur Erde gehen, um wieder nach I zu B_1 zurückzukehren.

Diese Anordnung erfüllt übrigens ihre Aufgabe nur dann vollkommen, wenn die Leitung L L ganz getrennt verläuft; befindet sie sich mit anderen Telegraphenleitungen auf einem und demselben Gestänge, oder läuft sie sonstwie mit solchen Linien eine Strecke parallel, dann müssen zur Aufrechthaltung des ungestörten telephonischen Verkehrs auch sämtliche Stationen jener Parallelleitungen mit der in Fig. 12 dargestellten Sicherungsanordnung m_1, M_1 und C_1 versehen sein.

Auch parallellaufende Telephonleitungen beeinträchtigen ihren Betrieb gegenseitig durch störende Induktionswirkungen, welche sich jedoch unschwer bekämpfen lassen, indem jeder Fernsprechleitung eine

Fig. 13.

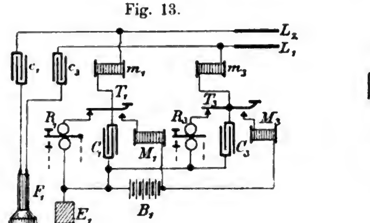
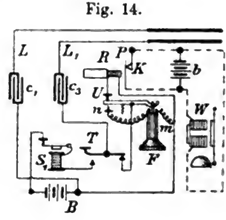


Fig. 14.



besondere Drahtrückleitung gegeben wird. Diesem Umstande, der für die Telephonie auf weite Entfernungen wirtschaftlich besonders ins Gewicht fällt, hat Van Rysselberghe durch die in Fig. 13 angedeutete Schaltung Rechnung getragen. Er nimmt hier an, dass zwei vorhandene Telegraphenleitungen L_2 und L_1 für den gewöhnlichen Morse- oder Hughesverkehr von je zwei Endstationen zu dienen haben, während gleichzeitig auch der Fernsprechverkehr zwischen den beiden Endpunkten der Linien L_1 und L_2 ermöglicht sein soll. Bei dieser Schaltung sind die Telegraphenstationen genau in derselben Weise mit Elektromagnetrollen m und M, sowie mit Kondensatoren C ausgestattet, wie im oben besprochenen Falle auf der einfachen Leitung; die Telephonämter sind aber nunmehr nicht einseitig an Erde gelegt, sondern zu je zwei Kondensatoren c_3 und c_1 angeschlossen, also gleichsam zwischengeschaltet.

Die in Fig. 12 und 13 nur durch ein Hörtelephon angedeuteten

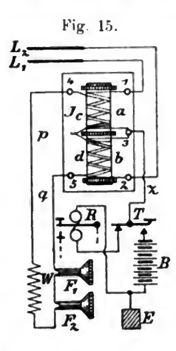
Fernsprecheinrichtungen haben zur Ermöglichung eines Anrufes, der hier natürlich nicht in der gewöhnlichen Weise durchgeführt werden kann, eine Anordnung, wie sie Fig. 14 ersichtlich macht. Als Anrufapparat dient nämlich ein sogenanntes telephonisches Relais R, P, K, das im wesentlichen nichts anderes als ein Telephon ist, an dessen Membran P sich ein kleiner, von einer zarten Flachfeder getragener Metallklöppel K lehnt. P und K sind mit einer Batterie b verbunden, deren Pole gleichzeitig auch zu den als Signalgeber eingerichteten Elektromagneten W Anschluss haben. Letzterer kann entweder ein empfindlicher Wecker sein oder er bethätigt eine Abfallklappe, die beim Umkippen einen gewöhnlichen Rassler in den Schliessungskreis einer Ortsbatterie bringt. Während des Ruhezustandes steht die Batterie b über P und K in kurzem Schluss und der von ihr in den Apparat W gelangende Teilstrom ist viel zu schwach, um eine Zeichengebung zu bewirken. Gelangen jedoch intermittierende Ströme in die Drahtrolle R, dann wird die Membran in heftige Schwingungen versetzt und dadurch der Kontakt zwischen P und K gestört. Infolge dieses Umstandes wirkt b mit voller Stärke auf W und setzt diesen Apparat in Thätigkeit. Die Anrufströme kommen, durch die Leitung L_1 und den Kondensator c_3 vermittelt, über einen Taster T, den Umschalter U nach R und c_1; erzeugt werden sie von der anrufenden Station mit Hilfe des Tasters T, der, niedergedrückt, den Selbstunterbrecher S_1 und die Batterie B in den Leitungsweg c_1—c_3, bezw. in den Schliessungskreis der Fernsprechstellen einschaltet. Bei Benützung des Telephons F wird durch den selbstthätigen Umschalter U in gewöhnlicher Weise der Anrufapparat aus- und das Hörtelephon dafür eingeschaltet.

Die in Fig. 12, 13 und 14 dargestellten Anordnungen sind zwar die ältesten ihrer Art, aber sie erläutern klar und einfach die Prinzipien, nach welchen Van Rysselberghe bei Bekämpfung der störenden Induktionsgeräusche und hinsichtlich der Anbahnung einer Doppelbenützung von Leitungen vorgegangen ist; in den Einzelnheiten haben diese Anordnungen allerdings späterhin noch manche Abänderungen und namentlich durch Einführung verschiedener Mikrophonsysteme oder zufolge besonderer Anpassung an aussergewöhnliche Telegraphensysteme Vervollständigungen erfahren, nicht aber die Prinzipien. Ausdrücklich für die Doppelbenützung der Telegraphenleitungen — d. i. jene Anwendungsform, welche allein nur in den Rahmen der vorstehenden Betrachtungen gehört — haben sie zuerst in Belgien durch ein eigenes Gesetz, vom 20. Oktober 1884 an, Eingang gefunden.

Digitized by Google

Anfangs 1891 hat Pierre Picard eine Anordnung angegeben, welcher die Mitbenützung zweier Telegraphenleitungen zum Telephonieren unter den für Fig. 13 erläuterten Voraussetzungen zu Grunde liegt, wobei jedoch an den Leitungsenden nur je eine Telegraphenstation als vorhanden angenommen wird. Nach dem „Genie civil" (Jahrg. 1893, Bd. 23, p. 73) bedient sich der Genannte bei seiner in Frankreich ziemlich verbreiteten Einrichtung eines Differenzialinduktors, der aus vier gleich langen und gleich dicken Drähten a, b, c und d, Fig. 15, besteht, welche paarweise auf einen gemeinsamen, aus weichen Eisendrähten hergestellten Kern gewickelt sind. Letzterer wird in der Mitte und an den beiden Enden durch Holzwangen getragen, die auf einem Fussbrette stehen, auf dem zugleich die fünf Anschlussklemmen 1 bis 5 angebracht sind. An der Klemme 3 vereinigen sich die Drähte a und b, deren anderen Enden über 1 und 2 mit den Telegraphenleitungen L_1 und L_2 verbunden sind. Von 3 führt ein Leitungsdraht zur Lagerachse des Telegraphentasters T, dessen Ruhekontakt mit dem Empfänger R — etwa ein Morserelais — in Verbindung steht, während der Arbeitskontakt Anschluss zur Linienbatterie B hat. Die zweiten Anschlüsse von R und B liegen an Erde. Dieselbe Schaltungsanordnung, wie sie Fig. 15 für die eine Endstation zeigt, hat natürlich auch die andere. Die freien Enden von c und d schliessen sich bei 4 und 5 an einen örtlichen Stromkreis p q, welcher die Hörtelephone F_1 und F_2, sowie die sekundäre Rolle W des Induktoriums umfasst, dessen Primärrolle vom Strome der Mikrophonbatterie durchlaufen wird. Bei Verfolgung der Stromwege ist leicht zu ersehen, dass die aus dem einen Amte durch Benützung des Tasters T entsendeten, bei 3 sich in L_1 und L_2 verzweigenden, in der empfangenden Station aber aus L_1 und L_2 mit gleicher Stärke und in gleicher Richtung ankommenden und in z nach dem Taster T gehenden Telegraphierströme zwar auf das Relais R wirken werden, die Telephone F_1 und F_2 jedoch in beiden Endämtern der Telegraphenlinien ganz und gar nicht beeinflussen können, weil sie die Rollen a und b in entgegengesetzter Richtung durchlaufen und deshalb in c und d entgegengesetzte Ströme von gleicher Stärke induzieren, die sich aufheben. Wird hingegen in einer der beiden Endstationen das Sprechtelephon benützt, so durchlaufen die hiedurch in der sekundären Rolle W des in der Zeichnung

Fig. 15.



Digitized by Google

weggelassenen Induktoriums erzeugten Induktionsströme die Rollen c und d in gleichem Sinne, induzieren daher auch in a und b gleichsinnige, sich summierende Ströme, welche über L_1 und L_2 in die zweite Sprechstelle gelangen und dort a und b wieder in gleicher Richtung durchlaufen. Letztere wirken in c und d gleichsinnig, weshalb also die Telephone T_1 und T_2 der Empfangsstation ansprechen werden, während die Telegraphenapparate beider Stationen vollständig unbeeinflusst bleiben.

Störende Rückäusserungen können eintreten, wenn Widerstand und Kapazität der beiden Leitungen L_1 und L_2 wesentlich ungleich werden; um derartige, durch äussere Veranlassungen herbeigeführte Schwankungen unschädlich zu machen, wird dem Differenzialinduktor eine Widerstandsrolle von 200 bis 250 Ohms und ein Kondensator von 0,5 bis 1 Mikrofarad beigegeben. Als Anrufer können natürlich nur phonische Apparate verwendet werden und wurde von P. Picard fürs erste eine Klingel so eingeschaltet, dass der phonische Rufer im Ruhezustande die Ortsbatterie durch den einen Schenkel des Klingelelektromagnetes geschlossen hielt, bei seinem Schwingen aber unterbrach und es hiedurch gestattete, dass der zweite Schenkel wie ein gewöhnlicher Selbstunterbrecher arbeitete. Diese Vorrichtung scheint jedoch nicht ganz entsprochen zu haben, da sie sehr bald durch eine Anordnung verdrängt wurde, welche mit der in Fig. 14 dargestellten Rufvorrichtung Aehnlichkeit besitzt. Dieselbe wird einfach zwischen die Klemmen 1 und 2, Fig. 15, eingeschaltet, wobei die aus L_1 und L_2 über a und b zugleich eintreffenden und über z zu den Telegraphenapparaten, bezw. zur Erde gehenden Batterieströme ersichtlichermassen auf den phonischen Anrufer ebensowenig eine Wirkung ausüben können, als die Anrufströme die Telegraphenapparate zu beeinflussen vermögen. Wohl aber verzweigen sich die Rufströme in der gebenden Sprechstelle von 1 und 2 auch in L_1 und L_2 und bringen an der anderen Sprechstelle die Rufklingel zum Läuten, bezw. die Abfallklappe (vergl. p. 287) zum Fallen.

Was die Genesis der bisher im Absatze D geschilderten Schaltungsformen anbelangt, so sind die zuerst angeführten amerikanischen eigentlich nur in der Absicht entstanden, unter Zuhilfenahme fernwirkender phonischer Anordnungen neue Mehrfachtelegraphen zu gewinnen, während die Systeme von Van Rysselberghe und von Picard, wie ja schon an anderer Stelle bemerkt wurde, hauptsächlich dem Bestreben entsprangen, den interurbanen Telephonverkehr auf grosse Entfernungen durchführbar zu machen. Wieder andere An-

Digitized by Google

ordnungen gingen lediglich aus dem wesentlich bescheideneren, aber gleichfalls gerechtfertigten Wunsche hervor, das bequeme Verständigungsmittel, welches die sprechenden Telephone darbieten, überall ohne weiteres — gleichsam als schätzbares Nebenprodukt — dort zur Verwertung bringen zu können, wo bereits elektrische Leitungen für anderweitige Nachrichtengebung vorhanden sind. Dieser Absicht liegt beispielsweise eine Anordnung von O. Saal in Erfurt zu Grunde, welche derselbe 1890 in der „Elektrotechnischen Zeitschrift“ (p. 327 und 661) bekannt gibt.

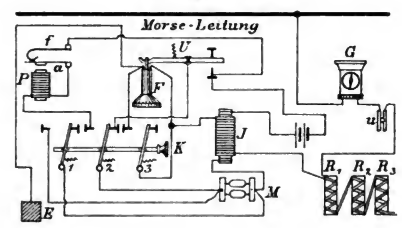
Es wird hiebei gar nicht erst vorausgesetzt, dass die Telegraphenstationen durch vorgeschaltete Widerstandselektromagnete und durch Kondensatorbrücken oder dergl. unschädlich gemacht seien; dieselben sollen vielmehr völlig ihre gewöhnliche Anordnung behalten. Dafür verwendet O. Saal zur Abschwächung der während des Telegraphierens im Telephon entstehenden Geräusche eine 1 mm starke Telephonmembrane aus Weissblech, welche vermöge ihrer Stärke von den Telegraphierströmen nicht so lebhaft beeinflusst wird, weshalb sich denn auch das „Knacken“ nicht in dem Masse geltend macht, um den telephonischen Verkehr zu verhindern[1]). Wie Fig. 16 ersehen lässt, sind die Fernsprechstellen an beliebigen Stellen an die Telegraphenleitung angeschlossen und zwar durch Vermittlung dreier, aus 0,5 oder 1,0 mm starkem Kupferdraht hergestellter, bifilar gewickelter Spulen R_1, R_2 und R_3, welche die Stelle des von Van Rysselberghe oder von Picard verwendeten Plattenkondensators vertreten. Drei Rollen R sind lediglich deshalb angeordnet, um für den Fall, als etwa die eine oder andere infolge atmosphärischer Entladungen verschmolzen würde, durch Ausschaltung derselben die Einrichtung leicht und sofort wieder betriebsfähig machen zu können. Als Anrufvorrichtung dient der kleine einspulige Elektromagnet P mit dem Anker a und der Kontaktfeder f, welcher Apparat durch einen Druck auf den Knopf K, bezw. durch die Umlegung eines dreifachen Schieberwechsels 1, 2, 3 mittels der Kontaktfeder 2 in den Stromkreis der Mikrophonbatterie eingeschaltet und somit in Gang gesetzt wird. Durch die intermittierenden Ströme, welche der Selbstunterbrecher P hervorruft, entsteht in dem Telephon der Empfangsstation ein trom-

[1]) Dieselbe Erfahrung hatte auch Dr. E. Zetzsche mit Bell'schen Telephonen schon gelegentlich seiner im Dezember 1877 vorgenommene Versuche (vergl. p. 284) gemacht, und berichtet derselbe hierüber in den „Technischen Blättern“ 1878, p. 15, wörtlich: „Da das gesprochene Wort im Telephon die Morsezeichen übertönt u. s. w.

Digitized by Google

petenartiger, ziemlich lauter Ton, der als Anruf gilt; im eigenen Telephon erfolgt der Anruf jedoch nicht, weil F, so lange K niedergedrückt wird, mit Hilfe der Kontaktfeder 3 in kurzen Schluss gebracht ist. Ebenso erfolgt während des Niederdrückens des Knopfes K durch Vermittlung der Kontaktfeder 1 auch die Wegschaltung des Mikrophons M, so dass die Anrufströme ganz ungeschwächt wirken können. Damit die Anrufe gehört werden, sind die Telephone F abweichend gegen die gewöhnliche Anordnung, bleibend, d. h. auch während der Ruhelage in die Linie geschaltet, so lange die Sprechstellen durch Beamte besetzt gehalten werden; der Stromschluss der Mikrophonbatterie erfolgt jedoch in der gewöhnlichen Weise erst durch den selbstthätigen Umschalter U, sobald F zum Gebrauche abgehoben

Fig. 16.



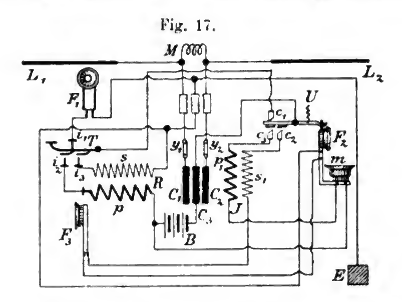
wird. Um die Telegraphenleitung ehestens vor Ableitungen schützen zu können, wenn etwa in den Rollen R_1, R_2 oder R_3 ein Kurzschluss entstünde, ist zwischen denselben und der Abzweigungsstelle an der Telegraphenleitung ein Galvanoskop G und eine Unterbrechungsklemme u eingeschaltet. Sobald G einen Nadelausschlag zeigt, weist diese Erscheinung auf das Vorhandensein der vorgedachten Linienstörung hin und dieselbe muss unverzüglich durch die bereits weiter oben erwähnte Wegschaltung der fehlerhaft gewordenen Rolle R behoben werden. Es geschieht dies mit Hilfe eines in Fig. 16 nicht dargestellten Stöpselumschalters, der gleichzeitig als Blitzschutzvorrichtung für die Rollen eingerichtet ist. Späterhin hat O. Saal seine Anordnung noch wesentlich vereinfacht, indem er an die Stelle der drei bifilar gewickelten Rollenkondensatoren die Sekundärspule des Mikrophoninduktoriums treten lässt, zu welchem Zwecke diese statt mit einem, mit zwei Drähten bewickelt wird. Hiezu sind 0,5 mm starke, mit Seide umsponnene Kupferdrähte benützt, deren Widerstand je 50 Ohms beträgt, während

Digitized by Google

die Primärrolle des Induktoriums aus 1 mm starkem, gewachstem Kupferdraht von 0,6 Ohm Widerstand hergestellt ist.

Eine für ähnliche Zwecke bestimmte Anordnung von J. Gattinger (vergl. Hugo Witz in Elektrotech. Zeitschrift 1893 p. 490 und 500) wird durch das Schaltungsschema Fig. 17 veranschaulicht. Die dargestellte Sprechstelle ist auf irgend einer Morsetelegraphenleitung L_1 L_2 in einer Zwischen- oder Endstation, deren Morseapparatsatz bei M angedeutet erscheint, mit Hilfe eines dreifachen Plattenkondensators C_1, C_2, C_3 beigeschaltet. Der Umschalter U gleicht den herkömmlichen, selbstthätigen Vorrichtungen dieser Art und wird für gewöhnlich durch das Hörtelephon F_2 und das damit steif verbundene Sprechtelephon (Mikrophon) m belastet, demzufolge während der Ruhe-

Fig. 17.



lage die in der Zeichnung dargestellte Kontaktlage besteht. Nebst dem Hörtelephon F_2 ist übrigens noch ein zweites F_3 vorhanden, welches lediglich den Zweck hat, es zu ermöglichen, dass zwei Personen gleichzeitig den Einlauf anhören können, was hinsichtlich der telephonischen Gespräche beim Eisenbahndienste, für welchen die Gattingerschen Sprechstellen in erster Linie bestimmt sind, unter Umständen wichtig und wünschenswert sein kann. Zum Empfange des — natürlich nur phonischen — Anrufes dient das Telephon F_1, und zum Anrufen ein kleiner Ruhmkorffscher Induktionsapparat R. Soll angerufen werden, so geschieht dies durch Niederdrücken des Tasters T, wobei der Ruhekontakt i_1 unterbrochen und dagegen die leitende Verbindung zwischen dem metallischen Tasterhebel und den Kontakten i_2 und i_3 hergestellt wird. Es erfolgt sonach ein Stromschluss der Batterie B über die primäre Rolle p des Ruhmkorff und dessen Neffschen Hammer (Selbstunterbrecher), ferner über i_2, T, c_1, U

Digitized by Google

und C_3. Die hiedurch entstehende Reihenfolge kurzer Ströme wird von der Sekundärrolle s des Ruhmkorff in eine gleiche Folge von Wechselströmen umgesezt, welche in den anderen Sprechstellen durch C_1 und C_2 an C_3 übermittelt über U, c_1, i_1 nach F_1 gelangen, um durch die Erde den Rückweg zu finden. Die Schwingungen, in welche auf diese Weise die Membran des Anruftelephons versetzt wird, erzeugen ein ziemlich kräftiges, ganz deutliches Brummen, Schwirren oder Schnarren, wie eben bei allen bisher betrachteten phonischen Anrufapparaten. Die in Fig. 17 weiters ersichtlich gemachten Stromwege lassen erkennen, dass durch die Ströme anderer Sprechstellen der Linie, so lange der Umschalter U belastet bleibt, lediglich das Anruftelephon F_1 erregt werden kann, wogegen der Weg zu F_2 bei c_2 und c_3 unterbrochen ist; hingegen wird der ganze Telephon- und Mikrophonsatz, nämlich das Induktorium J mit der Primärrolle p_1 und der Sekundärrolle s_1, die Hörtelephone F_2 und F_3, sowie das Mikrophon M samt der Batterie B eingeschaltet, sobald U durch Abnehmen des Hörtelephons in die Arbeitslage gelangt, d. h. die Kontakte c_2 und c_3 schliesst.

Damit in den Sprechstellen, welche Zwischenstationen sind, wie es in Fig. 17 vorausgesetzt und dargestellt ist, beim Vernehmen des Anrufes leicht und unverzüglich festgestellt werden könne, aus welcher Richtung derselbe kommt, sind in den beiden vom Kondensator zu den Leitungen L_1 und L_2 führenden Zweigdrähten je eine Ausschaltkurbel y_1 und y_2 zwischengeschaltet; wird der Anruf durch das Oeffnen der Kurbel y_1 unterbrochen, so kommt er von L_1, im zweiten Falle von L_2. Soll der telephonische Nachrichtenaustausch über mehrere zwischenliegende Morsetelegraphenstationen durchgeführt werden können, dann wird jede solche Station durch einen dem Morseapparatsatze parallel geschalteten zweiplattigen Kondensator überbrückt. Nach der weiter oben genannten Quelle können fünf in dieser Art überbrückte Morsestationen zwischen zwei Sprechstellen liegen, ohne den telephonischen Verkehr zu behindern. Derartige Anlagen scheinen jedoch nirgends praktisch angewendet zu sein, wogegen die Gattingersche Einrichtung für das sogenannte Stationssprechen, nämlich für den Verkehr ohne Zwischenstationen, bereits viel verbreitet ist. Man begnügt sich hiebei mit dem Nebeneinander beider Betriebsformen (Morsetelegraphie und Telephonie) und erzielt auch bei dieser Einschränkung wertvolle Ergebnisse.

Sowohl die Gattingerschen als die Saalschen Einrichtungen zielen vorwiegend dahin, den Bedürfnissen der Eisenbahnen oder mili-

Digitized by Google

tärischen Zwecken Rechnung zu tragen, und haben in dieser Richtung besondere Ausgestaltungen erfahren, auf welche später nochmals zurückzukommen sein wird. Dagegen bringt W. Christiani in der Elektrotechnischen Zeitschrift (1894, p. 133 u. 421) Schaltungssysteme in Vorschlag, welche insbesondere dazu dienen sollten, einzelne Leitungen innerhalb der staatlichen Telegraphie- oder Fernsprechnetzen zu einer abwechselnsweisen telegraphischen oder telephonischen Nachrichtengebung benützbar zu machen. Christiani geht von den Erwägungen aus, dass sich die Nutzbarmachung vorhandener Telegraphenleitungen für Fernsprechzwecke unter Voraussetzung eines abwechselnden Betriebes allerdings nur für Linien von geringer Inanspruchnahme in Aussicht nehmen lasse, dass aber die sogenannten Omnibusleitungen, insofern sie nicht an stark belasteten, vieldrähtigen Telegraphengestängen laufen, sowie die äussersten Ausläufer der Telegraphennetze, die schwachbelasteten sogenannten Landlinien, jedenfalls von der Doppelbenützung wesentliche Vorteile ziehen könnten. Noch günstiger gestaltet sich die Wertfrage der Doppelbenützung, namentlich unter den in Deutschland obwaltenden Verhältnissen, wenn sie umgekehrt wird, d. h. wenn versucht wird, die Morsetelegraphie auf vorhandene Fernsprechleitungen zu verpflanzen. Es kämen diesfalls die kleinen, aber um so zahlreicheren Fernsprechleitungen in Betracht, welche gewöhnlich für sich allein geführt und durch ihren eigenen Verkehr fast niemals völlig ausgenutzt sind. Diese Linien dienen vorzugsweise weniger verkehrsreichen Landorten und besitzen mit Rücksicht der grossen Zahl hintereinander geschalteter Fernsprechstellen zumeist den Charakter von Omnibuslinien. Hier vermag die Einrichtung zur Doppelbenützung namentlich dann sehr nützlich zu sein, wenn es sich um durchgehende Querverbindungen zwischen Hauptlinien oder um Leitungen handelt, in denen einzelne Stationen zeitweilig lebhafter in Anspruch genommen sind, wie dies beispielsweise in Badeorten oder dergl. vorkommen kann.

Eine diesfällige Anordnung, welche schon 1893 in einer Ruhestromleitung mit sieben hintereinander geschalteten Fernsprechstellen derart zur Anwendung kam, dass die beiden End- und zwei Mittelstationen dieser Linie auch für den Morsetelegraphenverkehr eingerichtet wurden, zeichnet sich durch ihre ausserordentliche Einfachheit aus und hat günstige Erfolge ergeben. Die einzelnen Stationen gleichen genau den im Gebiete der Deutschen Reichs-Telegraphenverwaltung vielverbreiteten gewöhnlichen Fernsprechsätzen mit Ruhestromweckeranruf. An jeder solchen Sprechstelle befindet sich nämlich ein Wecker, dessen Spulen dauernd in die Linie geschaltet und also regulär vom

Digitized by Google

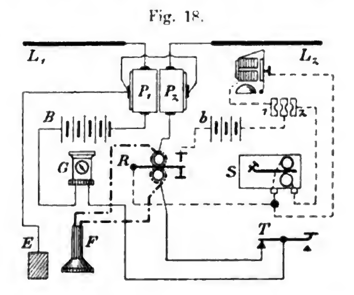
Linienstrome durchflossen sind; jeder dieser Wecker hat aber auch den Ankerkontakt des Selbstunterbrechers, und von diesem Kontakte führt ein besonderer Draht zum Anruftaster. Wird der letztere niedergedrückt, so erfolgt hiedurch eine Unterbrechung des direkten Stromweges über die Weckerspulen, wogegen der Linienstrom gezwungen ist, seinen Weg über den Ankerkontakt des Weckers zu nehmen, demzufolge letzterer als Selbstunterbrecher arbeitet, während die Wecker aller übrigen Stationen der Linie als Schleppwecker mitläuten. Durch Abheben des Hörtelephons vom selbstthätigen Umschalter wird in herkömmlicher Weise der Fernsprechapparatsatz eingeschaltet. Diese allbekannten Einrichtungen brauchen für die Christianische Doppelbenützung im wesentlichen keine Aenderung zu erleiden. Nur in den Stationen, welche fürs Telegraphieren ausgerüstet werden sollen, wird dem Vorhandenen noch ein Morsedirektschreiber, ein Morsetaster für Ruhestrom, eine kleine Verstärkungsbatterie und ein Kurbelumschalter zugegeben. Durch Umlegen des letzteren von links auf rechts wird der Telephonapparatsatz samt Anrufwecker aus der Linie gebracht und dafür der Morseschreiber und -taster nebst der Verstärkungsbatterie eingeschaltet. Während eines telegraphischen Depeschenwechsels bleiben die ledigen Fernsprechstellen wie sonst in der Linie und ihre Wecker spielen selbstverständlich die Morsezeichen mit. In den für beide Betriebsformen eingerichteten Stationen muss nur noch an den Anruftastern eine kleine Abänderung durchgeführt sein, damit bei der Schaltung auf Morse der Anrufwecker nicht als Nebenschliessung zum Farbschreiber eingeschaltet bleibt. Es wird zu diesem Ende der vom Ankerkontakt des Weckers ausgehende Anschlussdraht, welcher sonst zur Tasterzunge geführt ist, nicht an dieser Stelle, sondern beim Arbeitskontakt des Anruftasters angeschlossen.

Ebenso einfach und zweckdienlich ist Christianis Anordnung für jene Fälle, wo es sich um Telegraphenlinien handelt, die für den Fernsprechdienst benützbar gemacht werden sollen. Hier erhält einfach das Morserelais auf beiden Elektromagnetrollen eine doppelte Drahtbewickelung, von welcher die eine nach gewöhnlicher Weise in die Telegraphenlinie eingeschaltet ist, während die zweite in den Schliessungskreis des Telephonapparatsatzes eingefügt wird. Solche doppelte Relaisbewickelungen sind zwar schon für Doppel- und Gegensprechtelegraphen mehrfach ausgenützt worden, allein für den vorliegenden Zweck durften sie 1894, wo sie zuerst versucht wurden, als ein ebenso neuer als sinnreicher Behelf gelten. Wie mit dieser einfachen Zugabe die Mittelstation einer auf Ruhestrom geschalteten

Digitized by Google

Morseomnibusleitung anzuordnen ist, zeigt Fig. 18. Der Strom der Linienbatterie B findet seinen Weg einerseits über die Blitzplatte P_1 in die Leitung L_1, andererseits über das Galvanoskop G, den Morsetaster T und das Relais R zur Blitzplatte P_2 in die Leitung L_2. Der Relaishebelkontakt ist, je nachdem im Stöpselumschalter 1, 2 der Wechselstift im Loche 1 oder 2 steckt, nebst der Ortsbatterie b zum Wecker oder zum Morseschreiber S verbunden. Im Schliessungskreise des durch F versinnlichten Fernsprechapparatsatzes liegt die zweite Spulenwindung des Relais R; letzteres ist daher befähigt, nicht bloss die zum Telegraphieren dienenden Batterieströme, sondern auch, wie ein richtiger Induktionsübertrager, die telephonischen Wellenströme aus der Leitung $L_1 L_2$ nach F oder umgekehrt von F nach $L_1 L_2$ zu über-

Fig. 18.



mitteln. Besondere Anrufvorrichtungen sind für den Fernsprechverkehr keine erforderlich, weil das Anrufen am einfachsten und zweckmässigsten ebenso wie beim Telegraphieren, nämlich mit dem Morsetaster T und durch den Wecker geschieht. Es gilt als Regel, dass nur in jener Zeit telephoniert werden darf, wo die Linie nicht zum Telegraphieren in Anspruch genommen ist, sollte aber ausnahmsweise die Möglichkeit des Fernsprechens auch dann gewahrt bleiben, während in der Leitung telegraphiert wird, so lässt sich dies immerhin erreichen, wenn zwischen den zwei Sprechstellen, die vor allem Nachbarstationen sein müssen, keine Unterbrechungsstelle, d. h. kein Morsetaster in der Leitung liegt. Ausserdem müssen natürlich auch die Telephonapparatsätze an Erde gelegt sein, damit die elektrostatische Induktion aushilfsweise eintreten kann, wenn während des Telephonierens in irgend einer Station der Morsetaster in Thätigkeit gesetzt wird und zufolge

der damit verbundenen Linien- bezw. Stromunterbrechung die elektromagnetische Induktion ausbleibt.

Derartige Einrichtungen, bei welchen es wie bei den oben zuletzt geschilderten lediglich erstrebt wird, auf einer Linie den telephonischen Betrieb neben dem telegraphischen nach Bedarf und Befinden durchzuführen, haben besonders bei den Eisenbahnen eine grosse Verbreitung gefunden und werden die mannigfachen Anwendungen dieser Gattung späterhin noch wiederholt in Betracht zu ziehen sein; hieher gehören davon lediglich einzelne sogenannte Zugmeldeleitungen, auf welchen die Morsetelegraphen mit Streckentelephonen kombiniert sind. Dass diese Leitungen die von Station zu Station über den Zugsverkehr und dessen Sicherungen erforderlichen Mitteilungen zu vermitteln haben, in der Regel auf Ruhestrom geschaltet und mit den elektrischen Läutewerken (Glockenapparaten) zusammengelegt werden, wurde bereits auf S. 266 bis 277 ausführlich erwähnt; ausnahmsweise kommen aber auf Bahnlinien mit besonders dichtem Zugsverkehr solche Leitungen vor, welche lediglich dem telegraphischen Zugsmeldedienst gewidmet und an Stelle von Hilfstelegrapheneinrichtungen mit sogenannten Streckentelephonen versehen sind. Eben diese wohl mit Fernsprecheinrichtungen, nicht aber mit den Läutewerken kombinierten Zugsmeldeleitungen gehören noch unter Absatz D.

Bei mancher diesfälligen Einrichtung der Königl. preussischen Staatsbahnen hat die Bahnstation zwei in einem Schränkchen untergebrachte Telephone, wovon das eine, das Hörtelephon, am Kontakthebel eines gewöhnlichen, selbstthätigen Umschalters hängt, während das Sprechtelephon an der Innenseite des Schrankthürchens befestigt ist. In dieser Ruhelage sind die Telephone ausgeschaltet, dieselben gelangen jedoch in den Schluss der Zugmeldeleitung, sobald das Hörtelephon vom Umschalter abgehoben wird. Die Schränke der Bahnwärter auf der Strecke enthalten nur ein Telephon, den Ausschalter und einen gewöhnlichen Morsetaster (Unterbrechungstaster). Jedes solche Wärtertelephon wird gleichfalls beim Abheben von dem Umschalter samt dem zugehörigen Morsetaster in die Zugsmeldeleitung eingeschaltet. Will ein Bahnwärter mit einer der die Strecke abschliessenden Bahnstation in telephonischen Verkehr treten, so nimmt er sein Telephon vom Ausschalterhaken und gibt dann mittels des Morsetasters jenes Morsezeichen, welches als Anruf für die gewünschte Station festgesetzt ist, und wiederholt dasselbe so lange, bis sich die letztere am Telephon meldet. Der betreffende Stationsbeamte, welcher am Morseschreiber den Anruf empfangen und sodann seinen Telephon-


Digitized by Google

satz eingeschaltet hat, meldet sich mit dem Bemerken: „Station N. N. hier“ und sodann wickelt sich das Gespräch in gewöhnlicher Weise weiter ab. Der Telephonsatz der Stationen hat lediglich mit Rücksicht auf das im Amtszimmer nicht selten herrschende starke Geräusch je ein besonderes Hör- und Sprechtelephon, ein Bedürfnis, das bei den Wärterapparaten nicht vorliegt. Das Telephonkästchen der Streckenposten ist verschlossen. Der Schlüssel dazu hängt an einer kurzen Bindfadenschleife unten aus dem Kästchen heraus; der Knoten der Schleife befindet sich jedoch innerhalb des Schränkchens. Um den Schlüssel benützen zu können, muss sonach der Bindfaden durchgeschnitten werden. Diese Erschwerung des Zutrittes zum Telephon hat den Zweck, dem beliebigen privaten Gesprächswechsel der Wärter unter sich zu steuern. Damit jedoch der Bahnwärter und sein Ablöser die erforderliche Uebung in der Benützung der Telephoneinrichtung erlangen und bewahren, öffnet der Bahnmeister, welcher einen Reserveschlüssel zu dem Apparatkästchen besitzt, dieses allmonatlich einmal und lässt ein Uebungsgespräch mit der Station führen. Hat der Bahnwärter anlässlich eines Unfalles oder sonstigen aussergewöhnlichen, wichtigen Ereignisses wegen das Telephon benützen müssen, so obliegt es dem Bahnmeister späterhin, und zwar so bald wie möglich, den oben beschriebenen Verschluss wiederherzustellen. Will in Notfällen eine Station die Wärter ans Telephon rufen, so geschieht dies mittels eines auf der Läutelinie abzugebenden Läutesignals (Alarmsignal) [1]. Bei diesen Einrichtungen der preussischen Staatsbahnen und vielen ähnlichen Anlagen in Deutschland sind in der Regel die bekannten Siemens & Halskeschen sogenannten Präzisionstelephone verwendet.

Ein wesentlich deutlicherer und deshalb leichterer Fernsprechverkehr zwischen Bahnwärter und Stationen lässt sich natürlich durch Heranziehung von Mikrophonen erreichen, wie sie beispielsweise von Siemens & Halske eigens zur Aufstellung in mit Ruhestrom betriebenen Zugsmeldeleitungen hergestellt werden. Hiebei ist die Anordnung getroffen, dass nicht nur die Bahnstationen von den Bahnwärtern, sondern auch die letzteren einzeln oder gemeinsam ohne Beihilfe von auf der Läutewerkslinie zu gebenden Läutesignalen angerufen werden können. Zu diesem Behufe erhält jede Sprechstelle einen Anrufwecker, und zwar entweder einen für Ruhestromschaltung

[1]) Ein eigenes Läutesignal (Glockensignal), welches ausdrücklich zu dem Zwecke geschaffen ist, die Streckenwärter zum Telephon zu rufen, wurde beispielsweise 1890 auf der Gotthardbahn durch Telegrapheninspektor A. Baechtold zur Einführung gebracht (vergl. Elektrotechn. Zeitschrift Bd. **12**, p. 98).

Digitized by Google

vorgesehenen Selbstunterbrecher, oder einen Wechselstromwecker. Im ersteren Falle, in welchem der verwendete Anrufwecker genau den auf S. 295 besprochenen gleicht, braucht jeder Posten auch wieder einen Unterbrechungstaster zum Anrufen und es unterliegt keiner Schwierigkeit, die Wecker so kräftig zu bauen oder etwa die Orts- bezw. Mikrophonbatterie so kräftig zu wählen, dass der Anruf auch ausserhalb des Wärterhauses auf eine mehr oder minder grosse Entfernung vernehmbar wird. Diese Wecker werden allerdings bei jeder Tasterbenützung, d. h. bei jeder Unterbrechung des Ruhestromes in der Linie und somit auch beim Telegraphieren mitspielen, ein Umstand, der es ermöglicht, dass sich die mit Telephonsätzen ausgerüsteten Bahnwärter auch untereinander anrufen können, wenn dies gewünscht würde. Dementgegen hat das Mitspielen der Wecker den Nachteil, dass die Bahnwärter durch das viele, für sie bedeutungslose Geklingel hinsichtlich des Anrufes ihrer eigenen Sprechstelle an Aufmerksamkeit und rascher Auffassung einbüssen. Bei Anwendung von Wechselstromweckern fällt der letztgedachte Uebelstand weg, denn dieselben ertönen eben nur beim wirklichen Anruf seitens der Bahnstation, in welcher zu diesem Behufe je ein 6lamelliger Läuteinduktor aufgestellt ist. Die Bahnwärter erhalten keinen Magnetinduktor, sondern rufen die Stationen für alle Fälle mittels eines Morsetasters (Unterbrechungstasters), so dass nur der Anruf bei den Wärtern mit Weckerzeichen, in den Stationen hingegen stets mit Morsezeichen erfolgt. Die Widerstände der Fernsprechapparatsätze sind so gewählt, dass zwei bis vier Posten gleichzeitig eingeschaltet werden können, ohne das Abreissen der Morserelais in den Stationen nach sich zu ziehen.

E. Die Telephonie auf Signalleitungen. Zu dieser Gattung von Doppelbenützung müssen — strenge genommen — an erster Stelle ausnahmslos alle gewöhnlichen Fernsprechanlagen gezählt werden, sobald bei denselben der Anruf, sei es mittels Arbeitsstrom-, Ruhestrom- oder Wechselstromweckern, sei es mit phonischen Apparaten auf einer und derselben Leitung durchgeführt wird, weil in diesem Falle stets zweierlei, voneinander vollständig unterschiedene Betriebsformen nebeneinander vorhanden sind. Eigentlich gemeint sind hier jedoch jene Anordnungen, welche aus dem Bestreben hervorgehen, bereits vorhandene, dem Signaldienst gewidmete Leitungen für die Telephonie mitzuverwenden, ohne dass die ursprüngliche Benützungsweise eine Einbusse erleidet. Das Einfachste und Naheliegendste war diesfalls die Erweiterung und Anpassung gewöhnlicher Haus- oder Hoteltelegraphen, nämlich Weckeranlagen mit Nummernkästchen

Digitized by Google

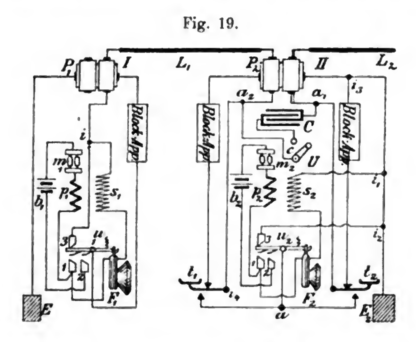
(Tableaux) oder dergl. für den Telephonbetrieb. Derartige Einrichtungen sind denn auch beispielsweise im Januar 1886 für Wilhelm Köhn in Deutschland (vergl. Zeitschrift für Elektrotechnik 1887, p. 492), desgleichen im April 1887 für Chamond in Frankreich (vergl. La Lumiere électrique 1888, Bd. XXVI, p. 298) patentiert worden; eine dritte Abart hat ein Unbekannter in La Lumiere électrique 1887, Bd. XXV, p. 217 veröffentlicht u. s. w. Vorwiegend waren es aber die Eisenbahnen, welche ihre Signalleitungen zu Doppelbenützung heranzogen und dieses System höchst vorteilhaft und in bedeutendster Ausdehnung zur Verwertung brachten. Die älteste hiehergehörende Anordnung mag wohl diejenige gewesen sein, welche laut Mitteilung des „Electrician“ (Bd. VI, p. 115) im Jahre 1881 seitens der South-Western-Railway-Company eingeführt worden war. Diese englische Bahn hat nämlich schon Ende 1880 ihren Blocksignalleitungen Gover-Bellsche Telephone zugeschaltet, um dadurch die Signalwärter instandzusetzen, sich über besondere Vorkommnisse und insbesondere bei etwaigen Unfällen über die zu treffenden Hilfsmassregeln verständigen zu können. Aehnliche, dem gleichen Zwecke dienende Ergänzungen der elektrischen Blockeinrichtungen sind auch in Deutschland und in der Schweiz ziemlich häufig und finden sich z. B. auf mehreren Strecken der K. württembergischen Staatsbahnen in nachstehender Anordnung (vergl. A. Hassler, „Die elektrischen Eisenbahnsignale“, Stuttgart 1895).

Die Fernsprechapparatsätze bestehen aus Hörtelephon und Mikrophon, wie es Fig. 19 zeigt, wo die Stromläufe einer Endstation (Endblocksignalposten) I und einer Zwischenstation (Zwischenblocksignalposten) II ersichtlich gemacht sind. Die einzelnen Blocksignalordnungen, deren Apparatsätze in der Zeichnung der Uebersichtlichkeit wegen nur durch ein längliches Viereck angedeutet erscheinen, sind Siemens & Halskesche und stimmen hinsichtlich ihrer Schaltung im wesentlichen mit der in Fig. 1 dargestellten überein. Die Blockverschlüsse werden mit Wechselströmen, die Wecker mit gleichgerichteten, stossweisen Strömen betrieben und die Erzeugung dieser beiden Stromgattungen geschieht mittels Siemensscher Magnetinduktoren (vergl. p. 261). Die letzteren sowie die Wecker der Blocksignaleinrichtung dienen zugleich für den Fernsprechverkehr zur Durchführung des Anrufes. In den Zwischenstationen wie II sind natürlich die Blockapparatsätze stets doppelt und in den Endstationen wie I nur einfach vorhanden; dagegen hat jede Blocksignalstation ohne Unterschied nur einen Telephonsatz. Um aber diesen einen Apparatsatz in den Zwischen-

Digitized by Google

stationen nach beiden Richtungen benützen zu können, befinden sich daselbst zwei Fussumschalter t_1 und t_2, von welchen der Signalwärter den einen oder den anderen niederdrücken muss, wenn er nach links oder nach rechts ein telephonisches Gespräch abzuwickeln hat. Für gewöhnlich müssen die Apparate die in der Abbildung gekennzeichnete Lage besitzen, so dass die Weckerströme gleichwie die Blockier- und Deblockierströme unbehindert ihren richtigen Weg nehmen können. In der That finden die Magnetinduktorströme beispielsweise des Endpostens I einerseits über die untere Blitzplatte P_1 den Weg zur Erde E, andererseits über den Umschalterhebel u_1, den Ruhekontakt 3, ferner über i und die Blitzplatte in die Fernleitung L_1, um in II über die Blitzplatte P_2, über i_4, den Fussumschalter t_1 in

Fig. 19.



den Blockapparatsatz und schliesslich bei E_2 wieder zur Erde zu gelangen. Zum Telephonieren sind vorerst die Hörtelephone vom Umschalterhaken abzunehmen, ausserdem muss in den beteiligten Zwischenstationen der betreffende Fussumschalter niedergedrückt werden. Wenn in dieser Weise die Signalstationen I und II in den Sprechverkehr treten, so nehmen die Wellenströme, beispielsweise wenn I spricht, von der Sekundärrolle s_1 des Mikrophoninduktoriums einerseits über das Hörtelephon F_1, ferner über 1, u_1 und den Blockapparatsatz zur Erde E, andererseits über i und die Blitzplatte in die Leitung L_1, um in II über die Blitzplatte, den Fussumschalter t_1, a, u_2, 1, das Hörtelephon F_2 und weiter über die Sekundärrolle s_2 des Mikrophoninduktoriums und über i_1 den Weg zur Erde E_2 zu finden. Nachdem alle Zwischenstationen ganz gleich wie II eingerichtet sind, so ist an

Digitized by Google

der Hand der Fig. 19 leicht festzustellen, wie der Stromlauf sich gestaltet, wenn II etwa mit einer Nachbarstation III in telephonischen Verkehr tritt, zu welchem Ende in II der Fussumschalter t_2, in III der Fussumschalter t_1 niedergedrückt sein würde. Wünscht jedoch eine Signalstation über die Nachbarsignalstation hinaus zu sprechen, beispielsweise I mit der in der Zeichnung nicht mehr dargestellten Station III, so vermittelt die zwischenliegende Signalstation II lediglich den Anruf mit Hilfe des Magnetinduktors und des Weckers der Blockapparatsätze und stellt sodann die Kurbel eines Umschalters U auf den Kontakt c ein, wodurch ein Plattenkondensator C zwischen die beiden Linienanschlüsse a_1 und a_2 eingeschaltet wird, der die Station für die telephonischen Ströme überbrückt. Während der Ruhestellung ist dieser Umschalter U jedoch stets offen zu halten.

Am häufigsten werden bei den Eisenbahnen Mitteleuropas zur Telephonie die Läutewerkslinien mitbenutzt, welche hiezu schon deshalb die beste Eignung besitzen, weil sie, wie bereits mehrfach an anderer Stelle hervorgehoben wurde, stets nur je zwei Nachbarstationen einer Bahnstrecke verbinden, also kurz sind, so dass sich in ihnen die störenden Induktionen verhältnismässig weniger geltend machen, als in den anderen elektrischen Leitungen der Eisenbahnen, mit Ausnahme der auf p. 297 angeführten Zugmeldeleitungen. In den Läutewerkslinien dienen die Telephone ebenfalls nur als Ersatz von Streckentelegraphen, eine Verwendungsweise, welche durch den Umstand gefördert wurde, dass die Behandlung der Telegraphen mit Schwierigkeiten verbunden ist, welche beim telephonischen Fernsprechen nicht obwalten. Somit konnte im Wege der Doppelbenützung der Läutewerkslinien dem Bedürfnisse nach einem verhältnismässig billigen, bequemen und ausreichenden Nachrichtenmittel zwischen den Beamten auf den Stationen und den Bahnwärtern auf den Strecken leicht und gründlich abgeholfen werden. Da die Läutewerkslinie an allen mit Läutewerken versehenen Wärterhäusern oder einer zunächst denselben befindlichen Läutebude zugeführt ist, so sind diese Stellen zur Zwischenschaltung oder zum Anschlusse eines Telephonsatzes unschwer zurechtzumachen.

In der Regel wird in der letztgedachten Verwendungsweise gleichfalls nur ein Nebeneinander der beiden Betriebsformen — der Läutesignalisierung und des telephonischen Fernsprechens — verlangt, obwohl sich ebenso leicht die gleichzeitige Durchführung ermöglichen lässt, wenn der Telephonsatz nicht in die Leitung eingeschaltet, sondern, wie es in mehreren bereits betrachteten Fällen geschah, nur

Digitized by Google

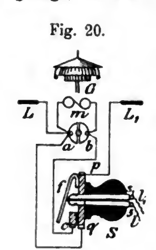
mittels eines Kondensators angeschlossen wird. Manche Eisenbahnverwaltungen haben als Telephonanruf ein eigenes Läutesignal festgesetzt, das entweder bloss von den Stationen oder auch von den Bahnwärtern gegeben werden kann und sämtlichen Sprechstellen als Aufforderung gilt, den Telephonsatz einzuschalten (vergl. p. 298); wieder andere benützen Wecker, die es dann gestatten, auch einzelne Sprechposten anzurufen. Anrufwecker sind insbesondere auf solchen Läutewerkslinien leicht anzuwenden, wo die Läutesignale mittels Magnetinduktionsströmen betrieben werden. Werden in solchen Fällen die Läutewerke mittels Wechselströmen ausgelöst, so können für den Anruf ganz gut Wecker in Verwendung genommen werden, welche auf gleichgerichtete Ströme ansprechen, ähnlich etwa wie es auf den Blocksignalleitungen nach Fig. 1 geschieht. Sind die Läutewerke für den Betrieb mit gleichgerichteten Strömen eingerichtet, dann kann es genügen, für Anrufwecker dieselbe Stromgattung, jedoch von abgeschwächter Stärke zu benützen. Behufs dessen braucht nur der Anruftaster so eingerichtet zu sein, dass er bei seiner Gebrauchsnahme einen angemessenen Widerstandsdraht vor den Magnetinduktor schaltet, während bei der Anwendung des Läutetasters die Ströme unmittelbar in die Signalleitung eintreten können; auch müssen selbstverständlich die Abreissfedern der Weckeranker schwächer gespannt sein als jene der Läutewerke. In der Regel werden solche Anrufe aber nur von den Stationen und nicht auch von den Zwischenposten ausgehen können, weil Magnetinduktoren eben nur in den ersteren, nicht aber in den letzteren vorhanden sind.

Auch wenn die Läutewerkslinien für Gegenstrom- oder Ruhestromschaltung eingerichtet sind, lassen sich Anrufwecker einschalten, welche auf schwache, bezw. abgeschwächte Ströme ansprechen, allein es wird sich dies mit Rücksicht auf die grossen Leitungswiderstände, welche eine Anzahl solcher hintereinander eingeschalteter Wecker in den Schliessungskreis bringt, als wenig vorteilhaft erweisen, sondern es wird vorzuziehen sein, einen phonischen Anruf, etwa wie in Fig. 16 oder 17 anzuordnen. In Anbetracht der Kosten, welche durch die Errichtung einer genügend grossen Zahl von Zwischensprechstellen auf langen Bahnlinien erwachsen, haben sich viele Bahnverwaltungen — und das ist namentlich in Oesterreich, Ungarn, Serbien und Rumänien der Fall — damit begnügt, lediglich die Bahnstationen mit ständigen Telephonsätzen auszurüsten, die Bahnwärterposten jedoch nicht. Wohl aber sind an den letzteren Vorkehrungen getroffen, mit deren Hilfe in Bedarfsfällen eigens hiezu angepasste, tragbare Telephon-

Digitized by Google

apparatsätze, welche bei allen Zügen mitgeführt werden, leicht, rasch und ohne Gefahr einer störenden Beeinflussung der Signaleinrichtung in die Läutewerkslinie eingeschaltet, bezw. an dieselbe angeschlossen werden können. Eine bei mehreren österreichischen und ungarischen Eisenbahnen angewendete Vorrichtung dieser Art, welche Deckert & Homolka in Wien und Budapest erzeugen, zeigt Fig. 20. Der für gewöhnlich vorhandenen, einerseits zur leichteren Einschaltung des Läutewerkselektromagnetes m, andererseits zur Prüfung desselben dienenden Stöpselklemme a, b wird noch eine zweite, in einem Kästchen untergebrachte ähnliche zweilamellige Stöpselklemme p, q zugefügt, die von vorne gesehen genau so aussieht wie a, b, der besseren Uebersichtlichkeit wegen aber in der Zeichnung im Querschnitte und um 90° gedreht skizziert erscheint. Diese zweite Klemme dient als Telephoneinschalter und besteht nebst den zwei gegeneinander isolierten Messingstücken (Ausschalterlamellen) p und q noch aus einem von q isolierten Kontaktstücke c, auf welchem für gewöhnlich die mit dem Stücke p metallisch verbundene Feder f aufliegt, so dass hiedurch ein leitender Weg zwischen p und c hergestellt ist. Bei dieser Ruhelage wird mithin dem aus der Leitung L kommenden Läutestrom über a, m, c, f und p der Weg in die zum Nachbarposten weiterführende Leitung L_1 oder umgekehrt stets offen sein. Wird jedoch zwischen p und q der Stöpsel S eingesteckt, so hebt dieser die Feder f von c ab und schaltet hiedurch den Läutewerkselektromagnet ersichtlichermassen aus der Leitung L L_1. Dieser mit dem einzuschaltenden Telephonsatz durch die Anschlussdrähte l und l_1 in Verbindung stehende Stöpsel S besteht aus zwei halbrunden Metallstücken s und s_1, welche durch ein Ebonitplättchen, das s und s_1 überragt und auch seitlich vorsteht, voneinander isoliert sind. Das Ebonitplättchen muss über s und s_1 hinausragen, damit keine leitende Verbindung zwischen diesen beiden Stöpselhälften und der Feder f eintreten kann; die seitlichen Vorsprünge des Ebonitplättchens haben hingegen lediglich als Führungen zu dienen, weshalb in der Holzplatte, an welcher der Ausschalter p q befestigt ist, sich ein Schlitz befindet, der das Profil des Stiftes s s_1 und des Ebonitplättchens besitzt und sonach gleichsam die Rolle eines Schlüsselloches und Schlüsselbleches spielt. Es ist diese Anordnung notwendig, damit der Stöpsel beim Einstecken stets nur eine Lage annehmen kann, bei welcher die messingenen Fleisch-

Fig. 20.



Digitized by Google

teile seiner Hälften sich an die Klemmenlamellen p und q anlegen. An p oder q ist an der Innenseite ein kleiner, in der Zeichnung nicht dargestellter federnder Schüber angebracht, der sich, wenn der Schaltstift ordentlich eingesteckt wurde, in eine eingedrehte Nute einschiebt und es auf diese Weise verhütet, dass der Stift durch den Druck der Feder f gelockert oder aus dem Loche herausgeschoben werde. Der als Handgriff des Stiftes dienende Knopf ist aus Ebonit und die aus dem Schutzkasten des tragbaren Telephonapparatsatzes kommenden, an s und s_1 angeschlossenen Drähte l und l_1 sind als leonische Schnur zusammengefasst. Die Apparatsätze bestehen für die hier in Betracht gezogene Verwendung gewöhnlich aus Mikrophon, Induktorium und Hörtelephon, die nebst zwei Trockenelementen in ein gemeinsames Kästchen untergebracht sind, aus dem die obgedachte Schnur mit dem Einschaltstöpsel heraushängt. Im Gebrauchsfalle wird also das tragbare Telephon an Ort und Stelle gebracht und nachdem die erforderlichen Läutesignale abgegeben worden sind, durch Einstecken des Schaltstiftes S, Fig. 20, eingeschaltet. Die Telephonströme finden in diesem Falle ihren Weg von L über a, q. s, l, l_1, s_1 und p nach L_1. Nachdem zufolge des vorausgegangenen Läutesignals die Beamten der die Bahnstrecke bezw. die Läutelinie abgrenzenden Stationen gleichfalls ihren Telephonsatz eingeschaltet haben, kann das telephonische Gespräch sofort unter gewissen, festgesetzten Einleitungsformen beginnen.

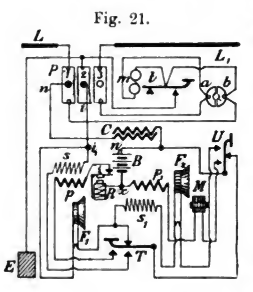
Häufiger, auch auf deutschen und schweizerischen Eisenbahnen, finden sich als Hilfstelephoneinrichtungen in Läutewerkslinien Gattingersche Apparatsätze, wie sie p. 292 geschildert wurden. Die Telephonapparatsätze der Stationen und ebenso alle ständigen Zwischensprechstellen bei den Bahnwärtern haben in diesen Fällen zumeist genau die in Fig. 17 ersichtlich gemachte Anordnung. In allen den Bahnstationen, wo zwei Läutelinien aneinander stossen, gibt es in der Regel doch nur je einen Telephonapparatsatz, der für beide Richtungen Dienst zu leisten hat. Bei dieser Verwendungsweise bedeuten sodann in Fig. 17 L_1 die Läutelinie, welche nach der linksliegenden, und L_2 jene, welche nach der rechtsliegenden Nachbarstation läuft, während M die gesamten Läutewerksapparatsätze der Bahnstation für beide Anschlussstrecken repräsentiert. Die Richtung, aus der ein phonischer Anruf eintrifft, wird zwar in der Praxis gewöhnlich schon durch ein vorausgegangenes Läutesignal angezeigt, lässt sich jedoch am Fernsprechapparatsatz, wie p. 293 erwähnt wurde, durch Oeffnen eines der Umschalter y oder y_1 genau und sofort feststellen. In den

Digitized by Google

Zwischensprechstellen auf der Strecke bedeutet hingegen bei Einrichtungen nach Fig. 17 M lediglich den Läutewerkselektromagnet des Signalpostens etwa einschliesslich eines Signaltasters, und L_1 und L_2 sind die kommende und weitergehende Läutesignalleitung.

So ziemlich dieselbe Schaltungsweise wird auch für tragbare Telephonapparatsätze angewendet, doch sind die zu einer Sprechstelle gehörigen Apparate, welche in Fig. 21 schematisch angedeutet erscheinen, in eine ihrer ambulatorischen Verwendungsweise angemessenere Form gebracht, d. h. dieselben befinden sich in einem tornisterartigen, 26 cm hohen, 30 cm breiten und 20 cm tiefen, vorn und rückwärts mit je einer Klappthür versehenen, hölzernen Tragkasten — vergl. auch Fig. 22, wo dieselben Theile mit den gleichen Buchstaben bezeichnet sind, wie in Fig 21 —, dessen Inneres durch eine Mittelwand in einen vorderen und rückwärtigen Teil geschieden ist. Im Vorderteile des Kastens der seiner Höhe nach nochmals geteilt ist, erhalten im oberen Abschnitte das Sprechtelephon bezw. Mikrophon M, das Hörtelephon F_2 und das zum phonischen Anruf bestimmte Telephon F_1 ihren Platz, zu welchem Ende eigene Stützen und Auflaghölzer im Kasten angebracht sind, die vermöge ihrer Form oder mittels Klemmfedern die benannten Apparate in zweckmässiger Lage festhalten. Die Telephone können zur Gebrauchsnahme leicht und rasch dem Kasten entnommen werden und stehen durch angemessen lange Leitungsschnüre mit den anderen noch zugehörigen Apparaten in Verbindung. Letztere haben ihren Platz in dem unteren Raum des vorderen Kastenteiles, der durch eine zweite Vorderwand abgeschlossen ist, und umfassen den Anruftaster T, dessen Druckknopf aus dem wagrechten Verschlussbrettchen des vorgenannten Raumes emporragt, ferner das Mikrophoninduktorium s_1, p_1, dann einen kleinen Ruhmkorffschen Induktionsapparat s, p mit dem Neffschen Hammer R und den Rollenkondensator C. Eine aus drei Hellesenschen Trockenelementen bestehende Batterie B ist im rückwärtigen Kastenteil untergebracht und steht in einem eigenen Troge, der beim Einsetzen in den Kasten die nötige Batterieverbindung durch Federanschlüsse selbstthätig bewirkt. Der mit einem zweckmässig angebrachten Tragriemen versehene Kasten wiegt, vollständig eingerichtet,

Fig. 21.



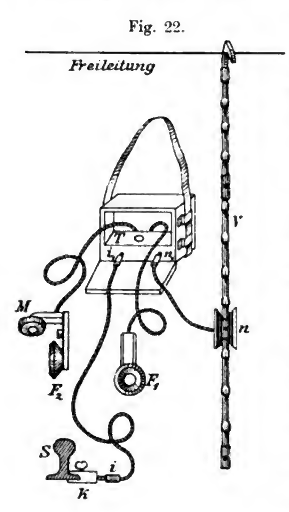
Digitized by Google

10,5 kg und kann mithin ganz leicht von einem Manne fortgeschafft werden. Hinsichtlich der Apparate bleibt nun noch das Eine zu erwähnen, dass das löffelförmige Hörtelephon F_2 mit dem Kohlenkörnermikrophon M durch einen rechtwinkeligen Bügel steif verbunden ist, derart, dass M gerade die richtige Lage zum Sprechen erhält, wenn F_2 am Ohre des Telephonierenden liegt, der dabei den Bügel mit der Hand festhält. Da die Anbringung eines gewöhnlichen automatischen Umschalters U, Fig. 21, der durch das Abnehmen des Telephons in Wirksamkeit treten würde, unthunlich war, wurde derselbe in die Handhabe des Hörtelephons verlegt, wo er gleichfalls sozusagen automatisch wirkt, indem die Hand des Telephonierenden beim Halten des Telephonbügels unwillkürlich und notgedrungen auf den aus der Handhabe ein wenig vorstehenden, leicht federnden Umschalterknopf einen Druck ausübt, der die zur Einschaltung des Hörtelephons F_2 und Schliessung der Mikrophonbatterie B erforderlichen Kontaktänderung herbeiführt. Das Anruftelephon F_1 ist gleichfalls ein löffelförmiges, mit Hufeisenmagnet, aber im ganzen etwas stärker und grösser gebaut als F_2; dasselbe kann übrigens während des Gespräches von einer zweiten Person als Hörtelephon benützt werden. Alle anderweitigen Apparate, nämlich der bifilar gewickelte Rollenkondensator, das Induktorium des Mikrophons und der Ruhmkorffsche Induktor mit Neffschem Hammer sind allerdings so angeordnet, dass sie den möglichst kleinsten Raum einnehmen, unterscheiden sich jedoch sonst in nichts von den gewöhnlichen Apparaten gleicher Gattung. Ist der obgeschilderte Telephonkasten zu einem Wärtersignalposten gebracht worden, um daselbst in Verwendung zu kommen, so erfolgt die Einschaltung desselben nach vorausgegangenem Oeffnen der vorderen Klappenthür mit Hilfe zweier, für gewöhnlich im Kasteninnern aufbewahrter Leitungsschnüre, welchen im Leitungsschema Fig. 21 die Stromwege n n_1 und i i_1 entsprechen und an ihren Enden mit Messingstöpseln versehen sind. Zwei am Telephonkasten angebrachte Klemmen dienen zur Aufnahme je eines Stiftes beider Schnüre, während die an den zweiten Schnurenden befindlichen Stifte an der Blitzschutzvorrichtung P metallischen Anschluss erhalten. Die letztere, gewöhnlich eine dreispangige Breguetsche oder ähnliche Blitzplatte, welche ohnehin an jedem Läutesignalposten vorhanden sein muss, ist für die bequeme Zuschaltung durch die Bohrungen 1, 2 und 3 vorbereitet, wo die freien Schaltstöpsel der Zuleitungsschnüre einfach eingesteckt zu werden brauchen, um die Einschaltung zu vollenden. Hinsichtlich des Anschlusses n steht die Wahl unter den beiden Klemmenlöchern

Digitized by Google

1 und 3 frei; es empfiehlt sich jedoch, das erstere zu benützen, wenn in der Richtung der Leitung L, und das andere zu wählen, wenn gegen L_2 telephoniert werden soll, damit die innerhalb der Blitzplatte P eingeschaltete Signaleinrichtung, nämlich der Läutewerkselektromagnet m, der Signaltaster t und die Ausschaltklemme a b hinter dem Telephonapparatsatz zu liegen kommt. Der Anruf erfolgt mittels des Tasters T und sind sowie dabei beim Telephonieren die Vorgänge wieder dieselben, wie sie auf p. 292 bereits in Betracht gezogen wurden. Hie und da ist auch dafür vorgesorgt, dass der Gattingersche Telephonsatz gleich im Freien an die Drahtleitung der Läutewerkslinie angeschaltet werden kann. Es geschieht dies mit Hilfe einer Stange V, Fig. 22, aus Bambusrohr, die ähnlich wie die Angelstäbe aus mehreren, etwa 1,5 m langen Stücken zusammengesetzt werden kann. Das erste endigt oben in einem scharfeingebogenen Haken und unten in einem Messingschuh; Haken und Messingschuh sind durch einen im Innern des Bambusrohres gezogenen Draht metallisch verbunden. Die übrigen Stäbe haben an ihrem unteren Ende ebenfalls einen solchen Messingschuh, wie der erste Stab und am oberen Ende eine Messinghülse, die entsprechend weit ist, um den Schuh eines der anderen Stäbe aufzunehmen. Schuh und Hülse jedes einzelnen Stabes stehen wieder durch einen im Rohrinnern gezogenen Draht in leitender Verbindung. Wenn also V, je nachdem der Leitungsdraht hoch oder niedrig am Gestänge hängt, aus zwei oder drei Stücken zusammengesteckt wird, bildet die ganze Stange stets einen ununterbrochenen Leiter. Wird sie schliesslich mit dem Haken auf den Leitungsdraht aufgehängt und zugleich der freie Klemmenstöpsel n der zur Ermöglichung verschiedener Längen auf einen Wickel gewundenen Leitungsschnur n n_1 in eine der Bohrungen eingesetzt, welche eigens zu diesem Zwecke in der Messinghülse an jedem Stabende vorhanden sind, so ist die erforderliche Verbindung zwischen Telephon-

Fig. 22.



Digitized by Google

apparatsatz und Leitung hergestellt. Als Erdanschluss dient ein einfacher Messingbügel k, den man mittels einer kräftigen Flügelschraube an einer blanken Stelle des nächsten Schienenstranges S am Schienenfusse festklemmt. In k befindet sich wieder eine passende Bohrung, in welche der freie Klemmenstöpsel i der Leitungsschnur i i_1 eingesteckt wird. Der Telephonapparatsatz ist hiemit dienstbereit und kann in der bereits mehrfach besprochenen Weise verwendet werden.

F. **Die Telephonie in Verbindung mit Telegraphie auf Signalleitungen.** Unter diese Art Einrichtungen zählen lediglich die im Absatze C besprochenen, gleichzeitig als Zugmeldeleitungen oder für Hilfstelegraphen mitbenützten Läutesignalleitungen (Läutewerkslinien, Glockenlinien) der Eisenbahnen, insofern sie auch noch Telephon zugeschaltet erhalten. Derartige Dreifachbetriebe sind, weil die Doppelausnützung der Läutewerkslinien sehr verbreitet ist, bei den Eisenbahnen Deutschlands, Oesterreich-Ungarns, der Schweiz u. a. verhältnismässig häufiger zu finden, als die im Absatze D betrachtete Doppelbenützung der Zugmeldeleitungen und so ziemlich ebenso häufig, als die im Absatze E behandelte Verwendung reiner Läutesignalleitungen für das Fernsprechen. Es ist nicht uninteressant, dass gerade auf solchen Leitungen, welche gleichzeitig dem Betriebe der Läutesignale und des Morsetelegraphen dienen, Versuche über die Möglichkeit, Telegraphen und Telephone auf einer Leitung zu betreiben, vorgenommen worden sind, welche zu den ältesten und ersten gehören, von denen die Fachlitteratur Notiz genommen hat. Diese Versuche sind übrigens nicht, wie man meinen sollte, im Eisenbahninteresse, sondern für militärische Zwecke ausgeführt worden, und die Elektrotechnische Zeitschrift vom Juni 1882 bemerkt hierüber auf p. 244 nachstehendes: „Bei den Telephonierproben, welche vor etwa einem Jahre seitens der Offiziere des in Prag liegenden 4. Bataillons des Genieregiments Nr. 1 unter Leitung des Majors Herrn Gatter zwischen Sandthor und Weleslavin, sowie zwischen Sandthor und Wyhybka u. s. w. auf den Telegraphen- und Signalleitungen [1]) der Buschtehrader Eisenbahn durchgeführt wurden, hat man auch über die doppelte Ausnützbarkeit der Linie vielfache Versuche angestellt. Bei einiger Gewöhnung der Aufnehmenden konnte unter sonst günstigen Umständen anstandslos telephoniert werden, während gleichzeitig die Telegraphenstationen ihre Telegramme abwickelten. Es war hiebei nicht einmal die Länge bezw. der Widerstand der Drahtleitung von

[1]) Genau so angeordnet, wie es Fig. 7 auf p. 274 zeigt.

Digitized by Google

massgebendstem Einflusse, sondern die äusseren Geräusche zunächst der Telephone und die Entfernung der Telephone voneinander, d. i. die Länge und der Widerstand der Drahtleitung zwischen Sprech- und Hörtelephon, sowie der allgemeine Isolationszustand der Linie."

Obwohl die Ergebnisse dieser und vieler ähnlicher Versuche ganz ermutigend waren, mochten sich die Eisenbahnen anfänglich lange nicht entschliessen, im äusseren Betriebsdienste und namentlich in Verbindung mit den Läutesignal- und Zugmeldeeinrichtungen Telephone in Verwendung zu nehmen. Erst als diese Apparate an sich Verbesserungen erfahren hatten und im Dienste der Nebenbahnen als reine Fernsprecher sich bewährten und ausbreiteten, begann man gegen Ende der 80er Jahre auch auf Hauptbahnen Telephone als Nachrichtenmittel in Kombination mit anderen elektrischen Betrieben, insbesondere als Vertreter von Hilfstelegraphen — worin das Wesen aller der in den Abschnitten D und E vorgeführten verwandten Anordnungen besteht — in Gebrauch zu nehmen.

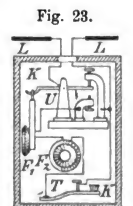
Ein Vorschlag von O. Saal in Erfurt lautete direkt dahin, die Morsestreckentelegraphen bei den Bahnwärterposten ihrer schwierigen Bedienung willen (vergl. p. 275) zu beseitigen und dafür Telephone anzubringen. In den Stationen sollte die vorhandene Morseeinrichtung der für Hilfstelegraphen benützten Läutesignallinie zu Zwecken des Zugmeldedienstes verbleiben — etwa wie es in Fig. 6 dargestellt ist — ausserdem sollen daselbst aber für den Nachrichtenverkehr mit den Streckenwärtern gewöhnliche, mit Mikrophon versehene Telephonapparatsätze zugeschaltet werden. Nach Saals Vorschlägen (vergl. Elektrotechnische Zeitschrift 1891, p. 154) soll die Wärtersprechstelle aus einem Wecker, einem Morseunterbrechungstaster zum Anrufen und zwei Telephonen, eines zum Hören, das andere zum Sprechen, zusammengesetzt sein. Ein gewöhnlicher selbstthätiger Umschalter hat während der Ruhelage den Wecker und nach Abhängen des Hörtelephons die beiden Telephone in die Läutesignallinie einzuschalten. Der Wecker wird beim Signalisieren sowie beim Telegraphieren (Morse auf Ruhestrom) mitspielen, was jedoch nicht verhindert, dass der Wärter den Ruf wahrnimmt und auffasst, wenn er mit seinem Sonderzeichen langsam und deutlich angerufen wird. In der Praxis der deutschen Eisenbahnen hat man aber gleich anfänglich — wie bereits auf anderer Stelle bemerkt worden ist — auf die fragwürdige Beihilfe von Anrufweckern in Läutesignalleitungen um so bereitwilliger verzichtet, als die Initiative zur Benützung der Telephone, welche Hilfstelegraphen vertreten, ohnehin in der Regel nur vom Bahnwärter oder

Digitized by Google

von dem Zugführer eines liegengebliebenen Zuges ausgehen wird, und umgekehrt eine Aufforderung der Stationen an die Wärter „zum Telephon zu kommen", am sichersten und wirksamsten durch ein Signal mittels der Läutewerke geschehen kann.

In diesem Sinne sind schon vor dem oben angeführten Saalschen Vorschlag beispielsweise von C. Lorenz in Berlin ausgeführte Bahnwärtertelephonsätze auf doppelt benützten Läutewerksleitungen zur Verwendung gekommen, die aus einem mit Controlverschluss versehenen Kästchen K, Fig. 23, bestehen, in welchem sich ein Anruftaster T, der Umschalter U und die zwei Telephone F_1 und F_2 befinden, wovon F_2 festgemacht ist und als Sprechtelephon dient, während das in der Ruhezeit auf dem Umschalterhebel hängende F_1 die Bestimmung hat, als Hörtelephon benützt zu werden. Hinsichtlich der Verwendungsweise und Behandlung dieser Fernsprechstellen, von welchen die Abschlussstationen der Läutewerkslinie mittels des Tasters T durch Morsezeichen angerufen werden können, gilt im allgemeinen alles das, was auf p. 298 und über die in den einfachen Zugmeldeleitungen der Eisenbahnen oder in den einfachen Läutewerkssignalleitungen zugeschalteten Telephoneinrichtungen bemerkt worden ist. Aehnliche Telephonapparatsätze für Eisenbahnwärter, wie die vorstehenden, lieferten Ende der 80er Jahre auch die Firmen W. E. Fein in Stuttgart, Fr. Reiner in München, Fr. Heller in Nürnberg, G. Wehr in Berlin, Peyer, Favarger & Co. in Neuenburg (Schweiz), Zellweger & Ehrenberger in Uster (Schweiz) und viele anderer. Uebrigens zieht man es neuerer Zeit nicht selten vor, die Bahnwärter, wenn sie schon mit ständigen Hilfstelephoneinrichtungen versehen werden, zur Erhöhung der Lautwirkung der letzteren, bezw. um das Fernsprechen leichter und sicherer zu gestalten, gleichfalls mit Mikrophonen auszurüsten, da es unter den jüngeren Trockenelementen viele gibt, die mit sehr grosser Ausdauer jede erwünschte Reinlichkeit und Handlichkeit verbinden und sonach nur geringe Unterhaltung erfordern.

Fig. 23.



Am zweckdienlichsten und vollkommensten bleibt es allerdings auch unter den vorliegenden Voraussetzungen, wenn die der gleichzeitig für die Morsetelegraphie und Läutesignale dienenden Leitung beizuschaltenden Telephone nicht unmittelbar in die Linie gebracht, sondern nach der O. Saalschen (Fig. 16) oder Gattingerschen (Fig. 17 oder Fig. 23) Anordnung mittels Kondensatoren angeschlossen werden. Es wird hiedurch nebst der Verminderung von Fehlerquellen

Digitized by Google

im Schliessungskreise der Signalleitung überdies die Füglichkeit geschaffen, dass sich die auf einer und derselben Leitung hängenden Stationen und Zwischenstationen gegenseitig und untereinander einzeln anrufen können. Hiebei ist allerdings vorausgesetzt, dass den Kondensatoren vorzügliche Blitzschutzvorrichtungen vorgeschaltet seien, während es anderenfalls vorzuziehen bliebe, die Telephonapparatsätze nur dann und so lange an die Signalleitung anzuschliessen, als Gespräche zu führen sind. Bei den Anlagen dieser Art tritt der interessante Fall ein, dass sich auf einer gemeinsamen Leitung sogar vier verschiedene Betriebsformen unterscheiden lassen: die Signalisierung geschieht nämlich mittels Magnetinduktionsströmen nach Fig. 6 oder mit Arbeitsströmen bei Gegenstromschaltung nach Fig. 8 oder endlich durch Unterbrechung eines Ruhestromes wie in Fig. 7; das Telegraphieren erfolgt bezw. durch Batteriestromunterbrechung, durch Batteriearbeitsströme oder mittels Stromverminderung; zum phonischen Anruf aber dienen intermittierende Ströme, und undulatorische Ströme sind es schliesslich, welche die Telephonerregung besorgen.

Dass sich die auf p. 306 besprochenen tragbaren Telephonapparatsätze auch auf Läutesignallinien anwenden lassen, welche für Morsetelegraphie mitbenützt sind, braucht wohl nicht erst besonders hervorgehoben zu werden. Dagegen wäre an dieser Stelle vielleicht noch zu bemerken, dass tragbare Anordnungen, wie sie in Fig. 22, bezw. in Fig. 21 ersichtlich gemacht wurden, nämlich die Gattingerschen sogenannten Feldtelephone, an jede beliebige Schwachstromleitung zur Gebrauchsnahme angeschlossen werden können. Würde man etwa zwei tragbare Telephonapparatsätze an die Fernleitung irgend einer Telegraphenleitung im Sinne der Fig. 22 anschliessen, so ist sowohl das gegenseitige Anrufen als das Sprechen zwischen den beiden in dieser Weise improvisierten Fernsprechstellen sofort möglich und letzteres wird auch keinerlei Störung durch das Telegraphieren erfahren, es wäre denn, dass sich zwischen den beiden Anschlussstellen Telegraphenstationen befinden, wo Leitungsunterbrechungen durch die Thätigkeit der Sendervorrichtungen (Taster oder dergl.) herbeigeführt werden, die nicht durch Kondensatoren (vergl. p. 282) überbrückt sind. Hingegen wird ein Nebeneinander der beiden Betriebe für alle Fälle möglich sein, d. h. die Zeit, in der nicht telegraphiert wird, kann immerhin anstandslos telephoniert werden; ein Umstand, der namentlich für Militärzwecke sehr günstig ins Gewicht fällt. Nach den Erfahrungen, welche für die Verwendbarkeit des obgedachten Feldtelephons vorliegen, kann laut eines Erlasses der Generaldirektion

Digitized by Google

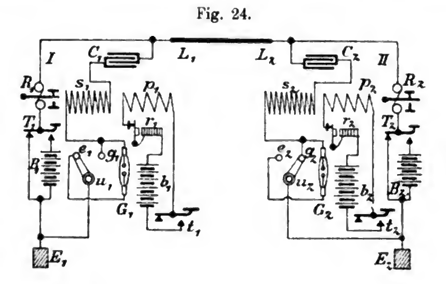
der K. K. österreichischen Staatsbahnen vom 29. Juli 1892 unter günstigen Umständen auf direkten Telegraphenleitungen selbst bis auf 50 km Entfernungen gesprochen werden.

Die in den vorstehenden Absätzen A bis F vorgeführten Beispiele gemischten Betriebes auf Schwachstromleitungen sind, wie schon eingangs einmal erwähnt wurde, fast ausschliesslich nur der Praxis entnommen und bilden, wenn auch lange nicht alles Einschlägige, was in Anwendung stand oder steht, so doch alles das, was grundlegend gewesen oder besonders verbreitet ist; sie geben sonach von dem Wesen der Doppelbenützungen im allgemeinen sowie hinsichtlich der Mittel und Wege, solche Einrichtungen auf ein und derselben Leitung durchzuführen, immerhin ein anschauliches Bild. Zur Vervollständigung dieses Bildes mag hier nur noch eine ganz neue, vorläufig allerdings bloss als Vorschlag in Betracht kommende Doppelbenützung nähere Erwähnung finden, welche dadurch interessant ist, dass sie von allen im engeren Gebiete der Telegraphie bestehenden Formen der Zeichengebung abweicht, indem es Lichterscheinungen sind, welche die Zeichen des Alphabetes darstellen sollen. Seit Reusser im Jahre 1794 seinen bekannten Telegraphen erfunden hat, bei dem die Zeichen durch den elektrischen Funken dargestellt wurden, der über Glastafeln lief, auf welchen aus Stanniolplättchen zusammengesetzte Buchstaben aufgeklebt waren (vergl. Zetzsche, Handbuch der Telegraphie Bd. I, p. 29), und seit Böckmann in Kassel im gleichen Jahre einen ähnlichen, jedoch wesentlich vereinfachten Funkentelegraphen in Vorschlag brachte (vergl. Schellen, Der elektromagnetische Telegraph 1. Aufl. 1850, p. 47) — beiden diesen Systemen lag natürlich nur die Benützung von Reibungselektrizität zu Grunde — scheint eine im vorigen Jahre unter Nr. 90557 für Deutschland patentierte Anordnung die erste zu sein, welche zur Bildung telegraphischer Grundzeichen auf Lichterscheinungen zurückgegriffen hat. In dieser Beziehung können nämlich die, insbesondere neuerer Zeit mit Hilfe von elektrischen Lampen durchgeführten Nachtsignalsysteme für militärische Zwecke, für die Schiffahrt und hie und da auch für Eisenbahnen nicht in Betracht kommen, da sie durchwegs keine Buchstabentelegraphen sind. Bei der vorgenannten, in Fig. 24 schematisch dargestellten Anordnung ist es das kürzere oder längere Aufleuchten einer Geislerschen Röhre G_1, bezw. G_2, welches einfach den Punkt und Strich des

Digitized by Google

Morseschen Alphabetes vertreten soll. Zu dem Ende besteht die Einrichtung jeder Station I und II aus einem Ruhmkorffapparate, dessen Primärrolle p nebst dem Neffschen (Wagnerschen) Hammer r mit einem Arbeitsstromtaster t und einer Batterie b durch Leitungsdrähte in Verbindung gebracht sind. Die Sekundärspule s ist dagegen entweder zur Geislerschen Röhre G und dann über e und die Kurbel eines Umschalters u zur Erde oder über g direkt zur Erde verbunden. Die erstere Umschalterlage, bei welcher die Kurbel auf e gestellt ist, wie es in Fig. 24 die Station I zeigt, gilt für das Empfangen, die zweite, wobei der Stromweg wie in II über g läuft, für das Geben von Depeschen. Will eine Station, z. B. II, telegraphieren, so muss also vorerst die Umschalterkurbel auf g_2 gelegt sein, sodann werden

Fig. 24.



die Zeichen wie Morsepunkte und -striche mittels des Tasters t_2 gegeben. Sobald t_2 den Stromkreis der Batterie b_2 schliesst, arbeitet der Selbstunterbrecher r_2 und die auf diese Weise durch p_2 geschickten intermittierenden Ströme werden durch s_2 in Wechselströme umgewandelt, ferner vom Kondensator C_2 in die Fernleitung L_2 L_1 und von da durch den Kondensator C_1 nach s_1 übermittelt, von wo sie über G_1, u_1, e_1, E_1, E_2 und u_2 den Rückweg zur Ausgangsstelle finden. Die Aufgabe der vorgeschalteten Kondensatoren ist es, den Anschluss an eine gewöhnliche, elektrische Telegraphen- oder Signalleitung zu ermöglichen, wie dies beispielsweise Fig. 24 hinsichtlich einer Morseleitung ersichtlich macht. Die Schaltungsweise entspricht so ziemlich derjenigen des Gattingerschen phonischen Anrufes (Fig. 17 und 22), und die Geislersche Röhre tritt genau an die Stelle des Anruftelephons. Eine Anrufvorrichtung, welche hörbare Zeichen gibt, müsste der Anlage übrigens jedenfalls beigefügt werden, sollte sie lebensfähig

Digitized by Google

sein. Ob die Betriebsströme der Geislerschen Röhren die Zeichenimpulse der auf derselben Linie hängenden gewöhnlichen Telegraphen wirklich in keiner Weise störend zu beeinflussen vermögen, oder ob diesfalls noch besondere Schutzmittel anzuwenden sind, ferner auf welche Distanzen mittels des in Fig. 24 dargestellten Lichttelegraphen depeschiert werden könne, alles das lässt sich wohl erst im Wege praktischer Versuche feststellen.

Soll den wirtschaftlichen Vorteilen, welche mit den verschiedenen Doppel- oder Mehrfachbenützungen einer und derselben Leitung verbunden sind, näher nachgegangen werden, so stellt es sich fürs erste ausser Frage, dass in dieser Beziehung die Verhältnisse bei den einzelnen Gattungen, wie sie in den Absätzen A bis F vorgeführt wurden, keineswegs gleich liegen, und dass diese Verhältnisse auch noch durch Zeit, Ort und andere Umstände der Anwendung mehr oder minder einschneidende Aenderungen erfahren können. Zum mindesten würde es mit nenneswerten Schwierigkeiten verbunden sein, den Wert der einen oder anderen Anordnung genau einzugrenzen, weil dasjenige, was sich davon ziffermässig berechnen lässt, nämlich die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten für die ersparten Leitungen nicht immer allein massgebend ist, sondern zumeist durch weitere, weniger konkrete Vorteile vermehrt oder ebenso durch betriebstechnische Nachteile des Systems vermindert, ja vielleicht völlig aufgehoben werden kann. Trotzdem dürfte es wenigstens hinsichtlich der meisten in die Praxis eingedrungenen, vielverbreiteten gemischten Betriebe statthaft erscheinen, die rechnungsmässigen Kosten der durch das System ersparten Leitungen gleichzeitig als den Minimalwert desselben anzusehen. In diesem Sinne werden beispielsweise in Deutschland, wo von den vorhandenen 47250 km Bahnstrecken annäherungsweise 20 % mit Blocksignaleinrichtungen von ausschliesslich Siemens & Halskescher Anordnung versehen sind, welche unter die im Absatze A, Fig. 1, besprochenen Doppelbenützungen zählen, für die zugehörige freie Weckerverwendung zum Vor- und Rückmelden Leitungen im Ausmasse von 9500 km erspart, was — für 1 km Leitung 110 Mark mittlere Gestehungskosten, 7,9 Mark jährliche Unterhaltung und eine 4,4%ige Verzinsung des Anlagekapitals angenommen — den Wegfall einer einmaligen Ausgabe von 1045000 Mark und einer jährlich wiederkehrenden Ausgabe von 116860 Mark bedeutet. Mit mehr als doppelt so hohen Beträgen bewertet sich dieselbe Ersparnis für die Eisenbahnen in Grossbritannien und Irland, da daselbst beiläufig 20000 km Bahnstrecken gleichfalls mit Blocksignaleinrichtungen aus-

Digitized by Google

gerüstet sind, deren Leitungen für den eigentlichen Block- und Deblockierdienst sowie für den zugehörigen Vor- und Rückmeldedienst gleichzeitig dienen. In ähnlicher Weise könnten ferner wohl auch für die gleichen oder verwandten Anlagen anderer Länder Ziffern aufgestellt werden.

Weniger leicht lässt sich etwas Bestimmtes über den Wert der im Absatze B angeführten „Signalanlagen auf Telegraphenleitungen" nachrechnen, da dieselben teils bereits veraltet und verlassen, teils in nur geringem Umfange angewendet sind. Hingegen geniessen die unter C zusammengefassten „Telegraphen auf Signalleitungen" eine Verbreitung, die — was Mitteleuropa anbelangt — grösser ist, als jene der soeben in Betracht gezogenen Blocksignalleitungen. Im Gebiete des Vereines Deutscher Eisenbahnverwaltungen, das bekanntlich die Bahnen Deutschlands, Oesterreich-Ungarns, Rumäniens, einige niederländische und belgische Bahnen, sowie die Wien-Warschauer Bahn umfasst, sind mit Beginn des verflossenen Jahres 57445 km mit Läutewerksignalen (Glockensignalen) ausgestattet gewesen, von welchen mindestens 80% gleichzeitig für den Morsetelegraphenverkehr von Station zu Station oder nebstdem auch als Streckentelegraphen ausgenützt werden. Durch die Doppelbenützung dieser 45956 km Läutesignalleitungen bleibt sonach eine ebenso lange für den Zugmeldedienst u. dergl. dienende Morseleitung erspart, hinsichtlich welcher unter Zugrundelegung der früher benützten Mittelpreise die Anschaffungskosten sich auf 5055516 Mark belaufen hätten und die Unterhaltungskosten nebst Kapitalsverzinsung jährlich 565258 Mark aufzehren würden.

Für die Wertberechnung der im Absatze D behandelten „Telephonie auf Telegraphenleitungen" fehlen wieder nähere statistische Anhaltspunkte, wenn auch bekannt ist, dass mehrere auf Grays „elektroharmonischen Telegraphen" (vergl. p. 278) und Edisons „Phonoplex" aufgebaute Anordnungen auf grossen amerikanischen Telegraphennetzen in Verwendung stehen, wo ihnen die Rolle von Vielfachtelegraphen zugewiesen ist. In Europa fehlen derartige Anlagen, weil die Staatstelegraphenanstalten, für welche diese Ausnützung der Leitungen lediglich in Betracht kommen könnte, fürs erste — England ausgenommen — Apparatsysteme vorziehen, welche dauernde Zeichen gewähren, und weil die Vielfachtelegraphen für die europäischen Verhältnisse sich im allgemeinen nicht gerade als ökonomisch günstig erweisen. (Vergl. „Der ökonomische Wert des Duplex-, Quadruplex- und Multiplexapparates; Zeitschrift für Elektrotechnik, Bd. III, p. 390

Digitized by Google

und 439.) Dafür ist das Van Rysselberghesche System auch für Europa höchst wertvoll geworden, wenn auch nicht in dem Masse, als ursprünglich angehofft wurde. So schrieb La lumière électrique, Bd. XIII, p. 520, nach den Moniteur belge vom 4. September 1884 beiläufig nachstehendes: „Die Tabelle der in der Welt bestehenden 2726779 km Telegraphenleitungen, welche, den Kilometer nur für 150 Frank angenommen, ein Kapital von 409016850 Frank repräsentieren, gibt einen Fingerzeig über den Wert der Erfindung des jungen belgischen Gelehrten. Wenn man die Unterhaltung des Drahtes auf 10 % anschlägt, so gibt dies einen jährlichen Aufwand von 40901685 Frank. Aehnlich wären auch die erste Anschaffung und die Unterhaltung eines vollständigen Telephonnetzes der Welt zu veranschlagen. Würde man nun das Telegraphennetz der Welt für die gleichzeitige Ausnützung zum Telephondienst tauglich machen, so kann man die bezüglichen Kosten, die Patenttaxen ungerechnet, auf 10 Frank per Kilometer ansetzen, was zusammen eine Ziffer von 27267790 Frank ergibt. Unter der berechtigten Annahme, dass das zukünftige Telephonnetz der Welt schliesslich ganz dieselbe Ausdehnung gewinnen müsse, wie das Telegraphennetz, ergäbe sich durch die Anwendung des Systems Van Rysselberghes ein Ersparnis zunächst von 381749060 Frank an Herstellungskosten nebst einem jährlichen Betrag von 40901685 Frank an Erhaltungskosten, wobei noch nicht einmal in Rechnung gezogen ist, dass jede telephonische Uebertragung, wenn sie sich in vollkommener Weise abspielen soll, einer doppelt so grossen Anzahl von Drähten bedarf, als der Telegraphendienst“ u. s. w. Diese optimistischen, fast könnte man sagen chauvinistischen Voraussetzungen haben sich allerdings nicht erfüllt und konnten sich nie erfüllen, weil sich die ökonomischen Vorteile des Van Rysselberghe-schen Systems gerade bezüglich der vorliegend einzig und allein in Betracht kommenden Doppelbenützung der Telegraphenleitungen für die Telephonie sehr verringern oder auch in das Gegenteil umwandeln, wenn das System auf Linien angewendet werden soll, die verhältnismässig kurz sind und wo eine grosse Zahl Leitungsdrähte nebeneinander auf einem Gestänge laufen. Da in solchen Fällen, wie bereits an anderer Stelle hervorgehoben wurde (vergl. p. 286), bei der Einrichtung auch nur einer einzigen Leitung für den Doppelbetrieb sämtliche Stationen aller nebeneinanderlaufenden Leitungen mit den Sicherungsapparaten versehen werden müssen, langen die vom Moniteur belge mit 10 Frank per Kilometer bemessenen Anschaffungskosten nicht im entferntesten aus, sondern diese Kosten erreichen oder über-

Digitized by Google

treffen wohl auch jene einer neuen Doppelleitung. Deshalb und weil auch die Anhäufung einer grossen Zahl von Nebenapparaten in den Aemtern aus mancherlei Gründen besser vermieden bleibt, wird unter den oben vorausgesetzten Umständen die Errichtung eigener Telephonfernleitungen vielfach vorgezogen. Immerhin ist die Verbreitung des Van Rysselbergheschen Systems bei den interurbaren Telephonanlagen, sowohl in Europa als insbesondere auf den langen Linien der amerikanischen Telegraphengesellschaften, eine grosse, doch liegen dafür keine genauen ziffermässigen Daten vor. Letzteres gilt auch hinsichtlich der auf Eisenbahn-Morseleitungen eingerichteten Telephonanlagen (p. 297), sowie in betreff der unter E und F behandelten Telephonanordnungen auf reinen oder mit Telegraphen kombinierten Signalleitungen. Es lässt sich hinsichtlich dieser Anwendung lediglich feststellen, das in jenen Ländern, wo für die Hauptbahnen „durchlaufende Liniensignale“ (Läutewerkssignale, Glockensignale) gesetzlich vorgeschrieben sind, wie in Deutschland und Oesterreich-Ungarn, die im letzten Decennium neu erbauten Läutesignalleitungen (Glockenleitungen) in der Regel gleichzeitig auch für den Strecken- und Hilfsdienst mit Telephonen ausgerüstet und zu deren Betrieb mitbenützt werden. Hingegen verdienen hier etwa einige Beobachtungen nachgetragen zu werden, die vielleicht künftighin zu Entwickelungen führen können, durch welche die Anwendung gewisser Doppelbenützungen wesentlich gefördert würde.

In der Elektrotechnischen Zeitschrift vom 30. Oktober 1891 (p. 580) gibt O. Saal die eigentümliche Beobachtung bekannt, dass bei den Versuchen mit einer improvisierten Morseleitung, an die im Sinne des Schaltungsschemas Fig. 16 Telephone angeschlossen waren, ein direkt in die Leitung eingeschalteter Morsefarbschreiber (ein sogenannter Knickhebel, für Ruhestrom) mit den Telephonen mitarbeitete. Derselbe gab nämlich nicht nur den phonischen Aufruf wieder, sondern er übertrug auch, wenn auch undeutlich, das gegen das Mikrophon Gesprochene. Eine ähnliche Erscheinung berichtete Fr. Bechtold, Telegrapheninspektor der Oesterr. Nordwestbahn, am 9. März 1892 in einer Versammlung des Elektrotechnischen Vereins in Wien (vergl. Zeitschrift für Elektrotechnik 1892, p. 164). Als derselbe mit tragbaren Telephonapparatsätzen (vergl. Fig. 21 und 22) auf einer nach Fig. 7 angeordneten Läutesignalleitung (Glockenleitung) Proben vornahm, kam es vor, dass die Beamten einer Nachbarstation II, Fig. 7, welche von den Versuchen keinerlei Kenntnis besassen, zu ihrer grössten Ueberraschung aus dem Morserelais R_2 heraussprechen hörten, und

Digitized by Google

zwar so deutlich, dass sie aus der Klangfarbe die sprechenden Personen erkannten. Ueber einen dritten Fall, der auf einer 72 km langen, zwischen Laibach und Gottschee neuerrichteten Morseleitung beobachtet wurde, berichtet Oskar Wehr in der „Zeitung des Vereines Deutscher Eisenbahnverwaltungen“, Jahrg. 1894, Nr. 51. In die benannte Leitung sind im Ruhestrom 13 Morsestationen eingeschaltet, ausserdem aber auch an 3 Haltestellen und den 3 ihnen übergeordneten Stationen, zusammen also an 6 Stellen der Leitung Telephonapparatsätze nach Fig. 17, bezw. 21 mittels Kondensatoren angeschlossen. Bei der sonst anstandslosen Abwickelung dieser zwei Betriebe hat man wiederholt Gespräche von allen 6 Sprechstellen in den Morsestationen am Morserelais deutlich mithören können. Die Lautwirkung und Vernehmbarkeit erhöht sich noch ganz wesentlich, wenn der Beobachter das Ohr anstatt an das Relais, direkt auf die aus gut trockenem Eichenholze hergestellte Telegraphentischplatte legt. In diesen wie in allen früheren Fällen konnte das Mitsprechen unter anscheinend ganz gleichen Umständen doch nur zeitweilig und ausnahmsweise beobachtet werden, ohne dass es, wie es scheint, bisher gelungen ist, die Bedingungen festzustellen, unter welchen sich die im Ruhestrom befindlichen Elektromagnete für beide Betriebsformen gleichmässig geeignet erweisen. Wenn diese Bedingungen einmal erkannt und Apparate konstruiert sein würden, welche sich je nach Wunsch oder Bedarf als telegraphische oder als telephonische Empfänger benützen lassen, hätte dies gewiss eine wesentliche Erweiterung und Vermehrung des gemischten Betriebes, namentlich für die Zwecke der Armeen und Eisenbahnen zur Folge.

Als endlicher Abschluss der vorstehenden Darlegungen möge nur noch die Bemerkung gestattet sein, dass es eine Reihe von Gebieten der Wissenschaft oder der öffentlichen Wohlfahrt gibt, wie beispielsweise die Astronomie, die Meteorologie, die Hydrotechnik u. s. w., welche zu ihrem Gedeihen eines ausgedehnten, systematischen Nachrichtendienstes bedürfen, für den ihnen derzeit in der Regel nur spärliche, zumeist ganz unzureichende Hilfsmittel zur Verfügung stehen; es liesse sich nun wohl die Frage aufwerfen, ob es nicht möglich wäre, durch eine praktische Anwendung von gemischten Betrieben auf den bestehenden Telegraphenleitungen mit verhältnismässig sehr bescheidenen Kosten dem gedachten Nachrichtendienste einen Vorschub zu leisten, wie er nur immer gewünscht werden könnte. Es sind ja in allen Städten, wo, oder zunächst welchen sich astronomische Institute, hydrotechnische Aemter oder dergl. befinden, ausnahmslos eine grössere oder

Digitized by Google

geringere Zahl von direkten Telegraphenlinien für den öffentlichen Depeschenverkehr vorhanden, die sich durch Ergänzung nach einem oder dem anderen der in den Absätzen D, E, F erläuterten Systeme ohne jegliche Beeinträchtigung der bisherigen Ausnützung zu einer Nebenverwendung im angedeuteten Sinne heranziehen liessen. Anscheinend sind es lediglich zwei gewichtige und nicht unberechtigte Bedenken, welche seitens der massgebenden Behörden gegen derartige Ausführungen, die doch nur ganz einfach und billig sein dürfen, erhoben werden könnten, nämlich die unverbürgte Wahrung des Depeschengeheimnisses, d. h. die etwaige Möglichkeit des Mitlesens und der Zuwachs von Fehlerquellen, welchen die Telegraphenleitungen durch die Kondensatoranschlüsse phonischer Aemter erleiden, da die letzteren behufs günstigen Betriebes und schon aus wirtschaftlichen Gründen vor den telegraphischen Endämtern einzuschalten kämen. Beide diese störenden Umstände liessen sich aber ersterenteils vielleicht mit Hilfe von Differenzialinduktoren, andernteils durch besonders empfindliche, sicher wirkende Blitzschutzvorrichtungen zureichend bekämpfen. Für alle Fälle hätte es hohen Wert, wenn die vorgedachten Institutionen einer vollen, dauernden Nutzniessung des ganzen Telegraphennetzes eines Bezirkes, einer Provinz, eines Landes oder Reiches teilhaftig gemacht werden könnten, und hiezu scheinen immerhin durch Anwendung des gemischten Betriebes Mittel und Wege geboten zu sein.

Digitized by Google

Die elektrischen Transformationsmethoden.

Von

Ingenieur C. P. **Feldmann**, Köln-Ehrenfeld.

Mit 31 Abbildungen.

---

1. Allgemeines. Alle sogenannten Stromerzeugungsmethoden sind eigentlich Umformungsmethoden; denn wir sind nicht im stande, Energie irgendwelcher Art zu erzeugen; alles, was uns möglich ist, beschränkt sich darauf, Energie aus einer ihrer Erscheinungsformen in eine andere überzuführen. Das Studium der Transformationsmethoden im allgemeinen umfasst also unsere gesamten Kenntnisse in allen Zweigen der angewandten und spekulativen Naturwissenschaften. Aber selbst die Beschränkung auf die elektrischen Transformationsmethoden ergäbe noch ein viel zu umfangreiches Thema; sie würde ausser den elektrischen Umformern

die Dynamos als mechanisch-elektrische,
die Motoren als elektrisch-mechanische,
die Elemente und Accumulatoren als elektrisch-chemische,
die Lichtquellen als elektrisch-thermische

Transformatoren mit einschliessen.

Hievon wollen wir nur die elektrisch-elektrischen Umformungen betrachten und dabei die Grenzen des Gebietes der elektrisch-mechanischen und mechanisch-elektrischen Umformungen nur da überschreiten, wo die Interessen des von uns zu durchforschenden Gebietes der elektrisch-elektrischen Umformungen dies gebieterisch erheischen.

2. Zweck und Einteilung. Der Zweck aller Transformation ist die Umwandlung aus einer Form in eine andere, zweckmässigere.

Dies gilt auch für die Transformation elektrischer Energie. Da aber die Leistung einer Energiequelle gegeben ist durch das Produkt

Digitized by Google

aus der Stromstärke I, der Klemmenspannung E und dem cos der äquivalenten Phasenverschiebung φ zwischen beiden, kann die elektrische Umformung sich erstrecken

a) auf Herstellung zweckmässigerer Werte der Spannung E,
b) auf Herstellung zweckmässigerer Werte des Stromes I,
c) auf Herstellung zweckmässigerer Werte der Verschiebung φ.

Damit sind aber die elektrischen Umformungsmethoden in dem vorerwähnten beschränkten Sinne noch keineswegs erschöpft; denn die EMK E in CGS Einheiten ist gegeben durch die Beziehung $E = K \cdot Z \cdot N \cdot \sim$, in welcher K den Kappschen Formfaktor, Z die Zahl der in Serie geschalteten Drähte, N die Kraftlinienströmung, $\sim$ die Zahl der sekundlichen Perioden bedeuten, und es sind somit weitere Umformungsmethoden möglich:

d) zur Herbeiführung zweckmässigerer Werte des Formfaktors K,
e) zur Herbeiführung zweckmässigerer Werte des Kraftlinienstromes N,
f) zur Herbeiführung zweckmässigerer Werte der Periodenzahl $\sim$.

Die Umformung unter d) kann so aufgefasst werden, dass sie sowohl die Umwandlungen der Form der periodischen Kurven als die Umwandlung der Stromart in zweckmässigere Formen und Arten umfasst.

3. Umwandler der Klemmenspannung. Hieher gehört als einfachster und zugleich typischer Fall der ruhende Wechselstromtransformator, dessen Diagramm in Fig. 1 dargestellt ist. Er ist dadurch charakterisiert, dass auf einem Eisenkern zwei Bewickelungen angebracht sind, von denen die primäre mit Wechselstrom von bestimmter Periodenzahl gespeist wird, während in der sekundären unter dem Einflusse des hiedurch geschaffenen Wechselfeldes eine Wechselspannung von derselben Periodenzahl erzeugt wird.

Der der Primärspule zugeführte Strom muss sowohl die Nutzleistung als die Effektverluste decken; er muss also eine Komponente besitzen, die in der Richtung der EMK liegt. Ausserdem aber muss er zur Erzeugung des Wechselfeldes eine wattlose Komponente besitzen, die senkrecht auf der EMK steht und deren Grösse sich leicht aus den Dimensionen und der Permeabilität des magnetischen Kreises berechnen lässt. Die Wirkung der stets vorhandenen Streuung kann dann nach Kapp[1]) so aufgefasst werden, dass zu dem beiden Spulen gemeinsamen Felde N noch zwei Felder hinzukommen, und zwar ein positives N_1, welches

[1]) Transformatoren für Wechselstrom und Drehstrom p. 95.

Digitized by Google

die primäre, und ein negatives N_2, welches die sekundäre Spule durchsetzt.

Bedeutet in Fig. 1[1]) $\overline{Oi_2}$ den Sekundärstrom, Oe_{k2} die sekundäre Klemmenspannung, $e_k e_2'$ den Spannungsverlust im Widerstand der sekundären Spule, so muss die dem negativen Streufelde N_2 entsprechende Gegen-EMK der n_2-Windungen

$$e_{s2} = 4{,}44 \sim n_2 N_2 \,.\, 10^{-8}$$

senkrecht auf i_2 stehen und so gerichtet sein, dass sie die Abnahme von i_2 zu verhindern strebt; sie muss also in Fig. 1 durch $\overline{Oe_{s2}}$ dargestellt sein. Das nützliche Feld N muss dann im stande sein, eine EMK

$$e_2 = 4{,}44 \sim n_2 N \,.\, 10^{-8}$$

zu erzeugen, welche den EM-Kräften e_{s2} und e_2' gerade das Gleichgewicht hält. Die in der Sekundärspule induzierte EMK muss also im Diagramm durch $\overline{Oe_2}$ gegeben und, wie man erkennt, gegen den Sekundärstrom verschoben sein, trotzdem induktionsfreie Belastung angenommen wurde.

Fig. 1.

Die sekundär induzierte EMK kann nur durch die wattlose Komponente i_μ des Leerstromes i_0 hervorgerufen sein, die senkrecht zu ihr steht und ihr um 90^0 voreilt; die primär induzierte EMK

$$e_1 = 4{,}44 \sim n_1 \,.\, N \,.\, 10^{-8}$$

dagegen muss dem Strom i_μ wieder um 90^0 voreilen und somit genau in der Verlängerung $\overline{Oe_1}$ von $\overline{Oe_2}$ liegen. In der Richtung $\overline{Oe_1}$ muss auch die Wattkomponente i_h des Leerstromes liegen, die, mit e_1 multipliziert, gerade die Leerverluste ergibt; und der Leerstrom selbst muss somit die Resultante $\overline{Oi_0}$ aus $\overline{Oi_\mu}$ und $\overline{Oi_h}$ sein.

[1]) Nach Fig. 52 aus Kapp p. 97 entworfen.

Digitized by Google

Der primäre Nutzstrom $i_1' = \frac{n_2}{n_1} i_2 = \overline{i_0 i_1}$ ist dem sekundären i_2 genau entgegengesetzt gerichtet und ergibt zusammen mit dem primären Leerstrom i_0 den primären Gesamtstrom $i_1 > \frac{n_2}{n_1} i_2$, der im Diagramm durch $\overline{Oi_1}$ dargestellt ist. Dieser Strom erzeugt im Widerstande der primären Spule den Spannungsverlust $\overline{Oa}$ und durch das Streufeld N_1 die EM-Gegenkraft $e_{s1} = 4{,}44 \sim n_1 N_1 \cdot {}_{10}{}^{-8} = \overline{Oe_{s1}}$.

Die Klemmenspannung, die dem Transformator primär zuzuführen ist, muss also im stande sein, der primär induzierten EMK $\overline{Oe_1}$, dem primären Spannungsverluste $\overline{Oa}$ und der primären Selbstinduktionskraft $\overline{Oe_{s1}}$ gleichzeitig das Gleichgewicht zu halten; sie ist also die Resultante $\overline{Oe_{k1}}$ dieser drei EMK und zeigt sich wegen der Streuungen verschoben gegen sämtliche Ströme und Spannungen des Diagrammes.

Das Diagramm ist im Interesse der Einfachheit so dargestellt worden, dass sämtliche primären Grössen mit dem Faktor $\frac{n_2}{n_1}$ multipliziert sind; es hätte sonst statt des Diagrammes der Ströme i_0, i_1, i_2 das Diagramm der Ampèrewindungen gezeichnet werden müssen.

Man erkennt sofort, dass der Transformator nicht nur die ursprünglich beabsichtigte Umformung der hohen ihm zugeführten Spannung e_{k1} des Verteilungsnetzes in die niedrigere Verbrauchsspannung e_{k2} an seinen Klemmen im Verhältnis der Windungszahlen vollzieht, sondern dass gleichzeitig auch die Ströme angenähert im umgekehrten Verhältnisse $\frac{n_1}{n_2}$ umgeformt werden. Zugleich vollzieht sich auch je nach der Grösse der Belastung, und zwar auch bei induktionsfreier sekundärer Belastung, selbstthätig eine gewisse Umformung der Phasenverschiebung des primären Stromes gegen die Klemmenspannung und der Ströme und Spannungen gegeneinander. Der ruhende Wechselstromtransformator formt also bei konstantem Felde und konstanter Periodenzahl wesentlich nur die Ströme und Spannungen, in geringem Masse aber auch die Winkel der Phasenverschiebungen um.

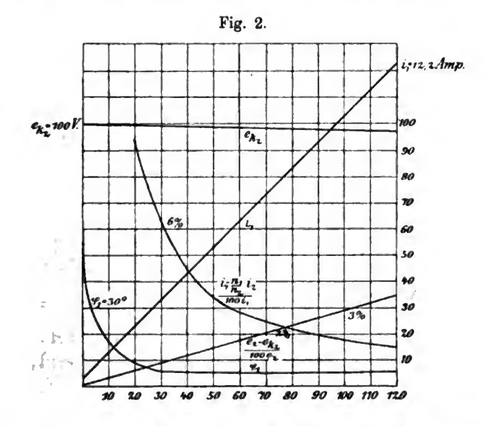
Hält man nun, wie dies bei Beleuchtungsanlagen meistens der Fall ist, die primäre Klemmenspannung der Transformatoren konstant, so stellt Fig. 2 den normalen Verlauf aller charakteristischen Grössen dar. Man erkennt, dass der Transformator nur zur Erzielung zweckmässigerer Werte der Spannung eingeführt wurde, und dass die nebenbei erzielte Umformung der Stromstärke, die meistens eine beträchtliche

Digitized by Google

Erhöhung derselben bedeutet, als notwendige Folge des Gesetzes der Erhaltung der Energie mit in den Kauf genommen wird. Das Diagramm zeigt auch die Veränderung des Umsetzungsverhältnisses und der primären Phasenverschiebung φ_1 mit wachsender Belastung.

4. Ruhender Transformator zur Umformung des Stromes. Es gibt aber auch Beleuchtungssysteme, bei denen man den Strom konstant halten will und bei welchen eine zweckmässige Umformung der Spannung des ganzen Systems nur gewünscht wird, damit der Strom konstant gehalten werden kann. Ein solches System ist die Beleuchtung mittels in Serie geschalteter Drosselspulen oder Trans-

Fig. 2.



formatoren, das durch die von der E.A.G. Helios ausgeführte Beleuchtungsanlage am Kaiser Wilhelm-Kanal zu neuem Leben erweckt wurde.

Bei dieser Anlage handelte es sich darum, die Konstanz des Stromes zu sichern, selbst wenn einzelne Glühlampen sprangen oder wenn durch die Unbill der Witterung mehrere derselben gleichzeitig zu Grunde gingen. Man hat deshalb die Glühlampen zu 25 Volt 25 Kerzen, die in Entfernungen von je 250 m etwa aufgestellt sind, einzeln an die Sekundärklemmen von kleinen 80 Watttransformatoren angeschlossen, deren Primärspulen zu 250 Stück in Serie geschaltet sind. Der Stromkreis verbraucht also nutzbar 6250 Volt und verzehrt ausserdem in seinem Widerstande 1250 Volt, so dass in der

Digitized by Google

Centrale 7500 Volt erzeugt und auf dünnen Leitungen 50 km weit geführt werden können. Jede Lampe hat dabei nur 25 Volt, und von den 250 in Serie geschalteten Lampen können etwa ein Viertel gelöscht werden, ohne dass der Strom merkbar variirt. Primär- und Sekundärspule der Transformatoren sind identisch und zu einer einzigen Spule verschmolzen, d. h. es sind nur parallel zu den Lampen geschaltete Drosselspulen. Das Diagramm der dabei verwendeten Drosselspulen ist leicht zu entwerfen: man muss nur bedenken, dass dieselben so gebaut sind, dass sie, gleichgiltig ob die Glühlampe brennt oder nicht, primär ungefähr denselben Strom aufnehmen müssen; man muss also den Spulenstrom i_m, der um fast genau 90° gegen den Lampenstrom i_l verschoben ist, gross gegenüber dem Lampenstrom i_l machen; der Gesamtstrom ist dann J, die Klemmenspannung einer Lampe ist E; die Klemmenspannung der Drosselspule bei durchgebranntem Kohlenfaden E′, und es verhält sich, sofern der magnetische Widerstand konstant bliebe, $\frac{E'}{E} = \frac{J}{i_m}$. Da aber der magnetische Widerstand bei der grösseren Zahl von Ampèrewindungen, die dem grösseren Strome J entsprechen, grösser wird, die Kraftlinienzahl also langsamer wächst als der Strom, ist $\frac{E'}{E} < \frac{J}{i_m}$. Hat man z. B. fünf Lampen in Serie geschaltet (Fig. 4a), von denen zwei gelöscht werden sollen, so gilt das Diagramm Fig. 4b und man erkennt, dass bei

Fig. 3.

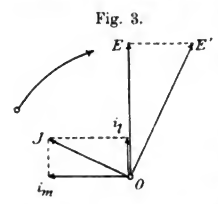
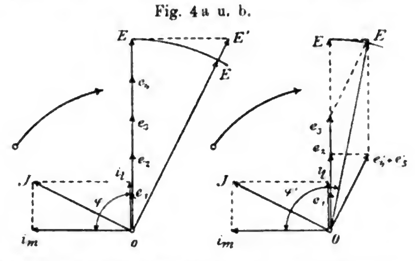


Fig. 4 a u. b.



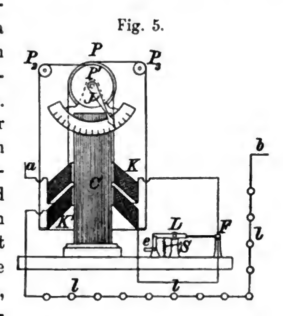
passender Wahl der Verhältnisse sich eine fast vollkommene Konstanz von E für konstanten Strom J trotz der allerdings beschränkten Löschbarkeit erreichen lässt.

Digitized by Google

Dies ist dann der Fall, wenn die Differenz $\overline{EE'}$ klein, z. B. $= 0{,}02$ bis $0{,}04$ E ist. Man kann dann E konstant halten und den Strom J sich etwas verringern lassen; stets aber wird man hier bei fortschreitender Löschung eine Verschiebung des ganzen Systems von Vektoren bei allmählich wachsendem Verschiebungswinkel φ erhalten, entsprechend dem wachsenden Ersatze des Nutzwiderstandes der Lampe durch die Reaktanz der Drosselspulen. Analog den vorerwähnten Drosselspulen verhalten sich Serientransformatoren mit voll ausgebildeten Primär- und Sekundärspulen, wie Alexander Rothert[1]) gezeigt hat.

Fig. 5 stellt den neuesten Umwandler dar, den Elihu Thomson[2]) nach diesem Prinzip gebaut hat. Die zwei Drosselspulen KK′, von denen die obere etwas schwerer ist, sind in Serie geschaltet und auf denselben Kern C gebracht; sie neutralisieren einander, da sie entgegengesetzt gewickelt sind, in der normalen Stellung, bei der sämtliche Lampen l im Serienkreise brennen. Erlischt eine der Lampen, so würde der Strom etwas anwachsen, wenn die Spulen sich nicht unter der Wirkung des stärkeren Stromes etwas abgestossen und voneinander entfernt hätten. Dadurch neutralisieren sich ihre Wirkungen nicht mehr vollkommen, und es kann eine Drosselung von solcher Grösse eintreten, dass der Strom wieder auf seinen normalen Wert abnimmt. Die Bewegung der Spulen wird dabei durch das System von Rollen P, P′, P_2, P_3 vermittelt, von denen P lose auf der Spindel sitzt. Wächst der Strom durch Kurzschluss oder dergl. übermässig an, so stösst die herabsinkende Spule K′ an den Anschlag e, der mittels des Hebels L den Kontakt F unterbricht.

Fig. 5.



Auch der von Elihu Thomson beschriebene Transformator (Fig. 6) mit einem magnetischen Nebenschluss zur Erzeugung besonders starker Streuung ist auf ähnlichem Prinzipe aufgebaut[3]). Sein Diagramm lässt sich aus Fig. 1 entwickeln, indem man e_{s1} und e_{s2} sehr gross wählt. Man erkennt dann, dass für wachsenden Wert des sekundären Stromes i_2 die Werte von e_{s1} und e_{s2} zunehmen und somit für

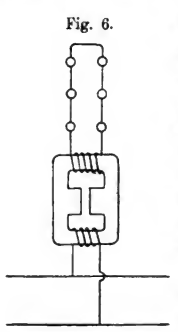
[1]) Elektrotechn. Zeitschrift 1896, p. 142.
[2]) Elektrotechn. Zeitschrift 1894, p. 603.
[3]) Centralbl. für Elektr. 1889, p. 111 f.


Digitized by Google

konstanten Wert von e_{k1} die Werte von e_{k2} stark abnehmen. Dies ist aber gerade der Zweck des Transformators, der dazu dienen soll, in Serie geschaltete Bogenlampen zu betreiben, die mit Kurzschlussvorrichtung versehen sind.

Sind alle Lampen kurz geschlossen, so hat der Sekundärstrom seinen maximalen Wert, die Klemmenspannung ihren minimalen; brennen alle Lampen, so ist der Sekundärstrom minimal, die Klemmenspannung maximal. Bei passender Wahl von i_μ, e_{s1} und e_{s2} kann also bei konstantem Werte von e_{k1} eine angenäherte Regulierung auf konstanten Strom i_2 erzielt werden. Auch hier tritt allerdings wegen der variablen Reaktanz eine Variation der Phasenverschiebungen ein. Hauptzweck war hier jedoch die Regulierung auf konstanten Strom. Der letzte Transformator formte dabei auch noch bis zu einem gewissen Grade den Kraftlinienfluss N um.

Fig. 6.



5. Umformung der Phase. Bei Verteilungsanlagen werden die Leitungen und Maschinen durch den wattlosen Strom zuweilen stark belastet. Um diesem Uebelstande zu entgehen, hat Swinburne zuerst die Anwendung von Kondensatoren vorgeschlagen, deren wattlose Ströme den Nutzströmen um 90° voreilen und die somit im stande wären, eine Verringerung oder vollkommene Aufhebung der resultierenden wattlosen Ströme zu bewirken. Die Prophezeiung Swinburnes, dass bald keine Wechselstromcentralen ohne Kondensatoren sein würden, hat sich jedoch nicht erfüllt, weil es sehr schwierig ist, grössere Kondensatoren für hohe Spannungen zu bauen, die auf die Dauer halten, fabrikmässig herstellbar und dabei mässig teuer sind. Dagegen hat das Studium der Kondensatorerscheinungen allerlei interessante Erscheinungen zu Tage gefördert, von denen einige hier besprochen werden sollen.

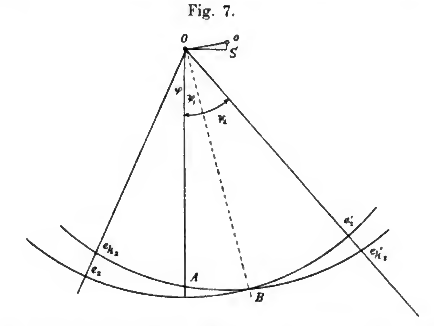
Als Ferranti seine Centrale in Deptford in Betrieb nahm, zeigte es sich, dass er um so weniger Erregung brauchte, je mehr Kabel eingeschaltet waren, oder mit anderen Worten, dass er bei konstanter Erregung um so mehr Spannung erhielt, je mehr Kapazität er durch Zuschalten von Kabeln in seinen Stromkreis einfügte. Die Erklärung gibt das Diagramm Fig. 7, das Kapp[1]) entworfen hat.

[1]) Transformatoren für Wechselstrom und Drehstrom p. 116, Fig. 71.

Digitized by Google

In diesem Diagramm bedeutet $\overline{OS}$ die Kurzschlussspannung, d. h. jene im Verhältnis $\frac{n_2}{n_1}$ reduzierte Spannung, die primär aufzuwenden ist, damit die durch ein Ampèremeter kurzgeschlossene Sekundärwickelung gerade den Sekundärstrom liefert; $\overline{oS}$ bedeutet den auf die Sekundärwickelung reduzierten gesamten Kupferverlust in beiden Bewickelungen, also $\overline{oS} = \overline{Oa} \cdot \frac{n_2}{n_1} + e_2' e_{k2}$ aus Fig. 1. Schlägt man dann aus O und o Kreise mit dem Radius oe_2 (Fig. 1), so trennt der Vektor $OA \perp OS$ das Diagramm in zwei Teile. Der Teil links von OA entspricht induktiver Belastung, der Teil rechts entspricht Belastung durch Kapazität

Fig. 7.



und ergibt jenseits des Vektors $\overline{OB}$ Spannungserhöhung. Für die Voreilung ψ_2 ist die Spannungserhöhung $e_{k2}'e_2'$, für die Verzögerung φ ist der Spannungsabfall $e_{k2}e_2$; für die Voreilung ψ_1 heben sich Kapazität und Eigenimpedanz des Transformators gerade auf.

Der Ferrantieffekt ist also, wie zuerst Sahulka nachgewiesen hat, eine einfache Folge des Zusammenwirkens der Kapazität der Kabel und der Streufelder der Transformatoren. Kompliziertere Erscheinungen, über die ich [1]) an anderer Stelle berichtet habe, zeigen sich, wenn man Kondensatoren in den Sekundärkreis der Transformatoren einschaltet; es sind dies die besonders von Pupin, Rosa, Bedell und Crehore untersuchten Resonanz- und Konsonanzerscheinungen, denen auch der Neustadt-Effekt beizuzählen ist. Letzterer besteht darin, dass beim Ausschalten eines kleinen Kondensators im Reste des Netzes eine Span-

[1]) Feldmann, Elektrotechn. Zeitschrift 1897, p. 94.

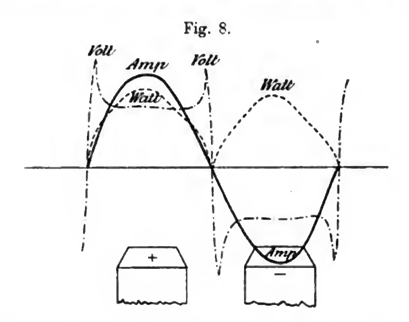
Digitized by Google

nungserhöhung eintritt, weshalb man bei konzentrischen Kabeln den Innenleiter zuerst aus-, den Aussenleiter zuerst einschalten soll.

Eine weitere wichtige Thatsache, die zuerst durch Swinburne und Mordey erwähnt, dann von Dolivo-Dobrowolski und Lahmeyer praktisch angewendet wurde, ergab die Beobachtung, dass übererregte Synchronmotoren sich wie Kondensatoren verhalten. Hieraut kommen wir jedoch noch beim rotierenden Transformator zurück.

6. Ruhender Transformator zur Umwandlung des Formfaktors. Der Formfaktor hängt, wie zuerst Kapp nachgewiesen hat, in hohem Masse von dem Verhältnis der Polbreite zur Teilung ab; er ist von hohem Einflusse auf die Verluste von Transformatoren, von merkbarem Einflusse auch auf das Funktionieren der Bogenlampen

Fig. 8.



und der Motoren. Die reine Sinuslinie, die den Diagrammen stets zu Grunde gelegt wird, wird selten erreicht. Und selbst, wenn sie z. B. bei Leerlauf erreicht ist, wird sie sich bei Belastung der Maschine durch Apparate mit Hysteresis, durch Kondensatoren oder durch den innerhalb einer Periode stark variierenden Widerstand von Bogenlampen sehr bedeutend ändern. Fig. 8 stellt einige Kurven dar, die C. P. Steinmetz[1]) beobachtet hat. Man erkennt dabei, dass der von der Dynamo gelieferte Strom nahezu sinusförmig verläuft, dass aber die Klemmenspannung am Bogen stark eingesattelt ist und keine Spur der Sinuslinie mehr erkennen lässt. Der Grund hiefür ist, wie Steinmetz angegeben hat, der innerhalb der Periode wechselnde Widerstand

[1]) Elektrotechn. Zeitschrift 1892, p. 567; siehe auch Voit, Der elektrische Lichtbogen p. 55.

Digitized by Google

des Bogens. Frith[1]) hat auch gezeigt, dass weitere Veränderungen der Kurvenform durch Vorschaltwiderstände eintreten.

Diese Aenderung des Formfaktors ist keineswegs erwünscht; sie ist nur nicht zu vermeiden und muss mit in den Kauf genommen werden; aber eben weil sie stets auftritt, darf die ursprüngliche Form der Kurven durch wichtigere Ueberlegungen festgesetzt werden. Unter diesen Erwägungen tritt allmählich die Frage der Motoren mehr und mehr in den Vordergrund; Kolben, Rössler und Wedding haben den Einfluss des Formfaktors auf Motoren untersucht und dabei gefunden, dass sinusförmige Kurven geringere Anlaufstromstärken und etwas höhere Wirkungsgrade ergeben. Was uns hier vor allem interessiert, ist der Einfluss des ruhenden Transformators auf die Umgestaltung des Formfaktors und sein Verhalten gegenüber Kurven mit verschiedenen Formfaktoren. Ich selbst habe hierüber eine Arbeit veröffentlicht[2]), bei der die Kurven jedoch leider falsch und nur die Schlüsse brauchbar sind; dann haben Rössler und Wedding und zuletzt Beeton, Taylor und Barr Untersuchungen angestellt; alle Untersuchungen stimmen darin überein, dass bei gleichem Effektivwert die spitzen Kurven mit grösserem Formfaktor entsprechend der kleineren Maximalinduktion kleineren Hysteresisverlust bewirken. Beeton, Taylor und Barr glauben ausserdem noch experimentell nachgewiesen zu haben, dass die Wirbelstromverluste vom Formfaktor fast vollkommen unabhängig sind. Für reine oder überwiegende Lichtanlagen hätten also die spitzen Kurven Anspruch auf eine gewisse Bevorzugung. Infolge ihrer variablen Permeabilität und infolge der Hysteresis verändern auch die Transformatoren selbst die Kurvenformen derart, dass sie aus einer sehr unregelmässigen Klemmenspannung eine viel weniger unregelmässige Induktionskurve ergeben[3]).

Diese Umwandlungen des Formfaktors bei ruhenden Transformatoren sind alle nur von untergeordneter Bedeutung; sie sind alle nicht direkt beabsichtigt und deshalb auch nicht als Transformationen zur Herbeiführung zweckmässigerer Werte anzusehen. Die Umwandlung, die der Bogen selbst hervorruft, indem er aus einer spitzen Kurve der EMK eine flache sich selbst zu erzeugen versucht, grenzt allerdings hier an, eben weil sie die zweckmässigere ist.

Eine reine Transformationsmethode dieser Art ist jedoch die von

[1]) Electrician 37, p. 317.

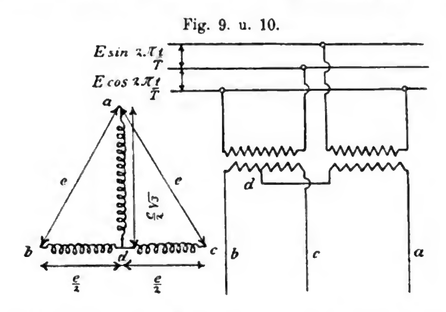
[2]) Elektrotechn. Zeitschrift 1895, p. 478.

[3]) Vergl. z. B. Fig. 3 B und Fig. 4 F Electrician, London, Bd. **37**, p. 78, spitze und stumpfe Kurven.


Digitized by Google

Scott vorgeschlagene Umwandlung von Zweiphasenstrom in Dreiphasenstrom durch Anlegung der einen Phase vom Werte $\frac{e\sqrt{3}}{2}$ an die Mitte der anderen Phase vom Werte e (Fig. 9 u. 10). Dieses Transformierungssystem ist in grossartigem Massstabe bei der Niagaraanlage zur Anwendung gekommen, weil man die Maschinen als Zweiphasenmaschinen bauen, die Fernleitung aber mit Dreiphasenströmen betreiben wollte. Zwischen den Punkten ab, bc, ac ergeben sich nämlich ohne weiteres drei um 120° gegeneinander verschobene

Fig. 9. u. 10.



Ströme. Das System ist auch ohne weiteres anwendbar auf Dynamomaschinen mit zwei um eine halbe Periode versetzten Armaturen, von denen die eine die EMK $\frac{e\sqrt{3}}{2}$ erzeugt und an die Mitte der anderen mit der EMK e angeschlossen ist. Aber solche Armaturen ergeben, wie auch die Transformatoren mit unsymmetrischer Belastung, leicht unsymmetrische Spannungsverteilungen.

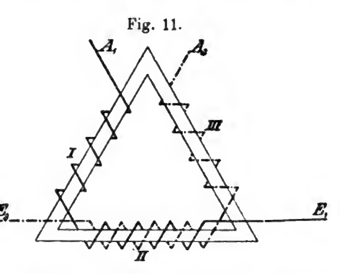
Hierhin sind auch die verschiedenen Vorschläge zur Erzeugung eines Drehfeldes zu klassifizieren, also alle von Tesla und Ferraris angegebenen Methoden zur Erzeugung der Kunstphasen durch Parallelschaltung eines induktionsfreien Stromkreises mit einem Kreise, der Induktanz oder Kapazität enthält. Hieher gehört auch die von Déri[1]) vorgeschlagene Anordnung zur Erzeugung eines künstlichen mehrphasigen Drehfeldes (Fig. 11). Die erste Bewickelung I führt den ursprünglichen Wechselstrom, die dritte führt einen um 60° verschobenen Strom in umgekehrter Richtung; die zweite Bewickelung

[1]) Elektrotechn. Zeitschrift 1894, p. 353.

Digitized by Google

besteht aus zwei gleichen Teilen, von denen der eine den Strom I in umgekehrter Richtung, der andere den Strom II führt. Es ist dann das Feld II gegen I um 180 − 60 = 120°, Feld III gegen I um 180 + 60 = 240° verschoben. Damit der Strom III um 60° gegen I verschoben werde, wird solange Reaktanz zugefügt, bis der Leitungsfaktor = 0,5 ist; die Wickelung A_3 E_3 erhält dann bei doppelter Klemmenspannung denselben Maximalwert des Stromes wie I bei einfacher Spannung. Das entstehende Feld ist somit ein künstliches dreiphasiges Drehfeld. Hiemit haben wir uns wieder dem Gebiete des rotierenden Transformators genähert, auf den wir nunmehr eingehen wollen.

Fig. 11.



7. Der rotierende Transformator. Der bekannteste derselben ist ein Satz gekuppelter Gleichstromdynamos, von denen die eine als Motor z. B. von einem 500 Voltnetze läuft, während die andere als Dynamo eine Lichtanlage mit 100 Volt speist. Die Uebersetzung ist dabei 1 : 5 und die Stromstärken verhalten sich auch hier angenähert umgekehrt proportional dem Uebersetzungsverhältnisse; man könnte die Analogie noch weiter treiben, man könnte sogar darauf verweisen, dass hier zwar in den äusseren Kreisen der Leitungsfaktor gleich 1 ist, aber trotzdem sich auch eine zweimalige Umformung des Formfaktors insofern vollzieht, als der Kommutator zuerst den 500 Voltstrom in mehrphasigen Wechselstrom umwandelt und dann den im Anker der Dynamo zirkulierenden Wechselstrom für den Beleuchtungskreis wieder sammelt, und indem er ihn übereinanderdeckt, den Gleichstrom abzugeben ermöglicht. Dieser Fall liegt jedoch etwas ausserhalb des Rahmens der hier zu betrachtenden Vorgänge.

Ein rotierender Transformator allgemeinster Art ist jedoch auch der Induktionsmotor. Er nimmt Wechselstrom von bestimmter Spannung und Periodenzahl in seiner primären Wickelung auf und wandelt ihn in Wechselstrom anderer Spannung, anderer Stromstärke und Phasenverschiebung und anderer Periodenzahl um. Der sekundäre Kreis kann dabei in sich kurz geschlossen, d. h. als Kurzschlussanker ausgebildet sein. Das Umsetzungsverhältnis der Perioden heisst die Schlüpfung. Das Diagramm des Induktionsmotors ist dabei fast genau

Digitized by Google

wie beim ruhenden Wechselstromtransformator, nur dass für den primären und sekundären Teil, wegen der verschiedenen Periodenzahlen, verschiedene geometrische Orte einzusetzen sind. Das Diagramm muss dabei [1]) so aufgefasst werden wie für den Mehrphasentransformator.

Für den Einphasentransformator mit variablem Felde müssen wir uns das Diagramm mit Periodengeschwindigkeit in der Richtung der Uhrzeiger rotierend denken; dann zeigen die Projektionen der Vektorgrössen auf eine räumlich feststehende Gerade die Einzelwerte an, die konstante Richtung, aber variable Grösse besitzen.

Beim Mehrphasentransformator müssen wir das Diagramm selbst als Darstellung der während der Periode konstanten, aber mit Periodengeschwindigkeit im Transformator rotierenden Grössen ansehen.

So ist es auch beim Mehrphasenmotor. Solange der Anker still steht, ist der Motor nichts anderes als ein ruhender Transformator mit hoher Streuung. Da aber die sekundäre Spule beweglich angeordnet ist, so wird sie nach dem Lenzschen Gesetz von der primären Spule abgestossen werden und sich von ihr fortzubewegen, d. h. zu drehen streben. Die Tendenz der Fortbewegung ist an jeder sekundären Spule vorhanden und erklärt auch die seiner Zeit mit soviel Erstaunen aufgenommenen Thomsoneffekte [2]).

Fig. 12a u. b.

Der in der Feldbewickelung fliessende Primärstrom J_1, der Strom im Kurzschlussanker J_2 und der Leerstrom J_m bilden wie beim Transformator ein Stromdreieck, dessen eine Seite J_m jedoch nicht konstant ist und dessen Spitze sich auf einem Kreise CD bewegt. Der Durchmesser dieses Kreises kann aus den Streufeldern ermittelt werden [3]). Das Dreieck aCC′ ist also nicht rechtwinklig wie beim ruhenden Transformator.

[1]) Heyland, Elektrotechn. Zeitschrift 1894, p. 561.

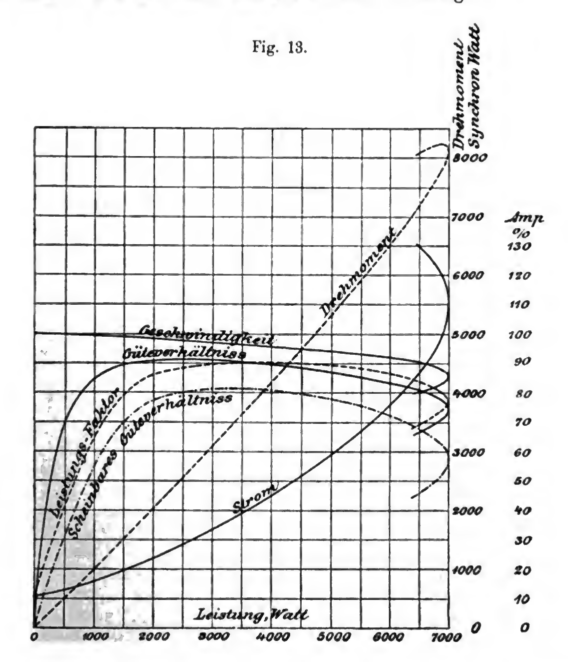
[2]) El. World 1887, p. 258; Elektrotechn. Zeitschrift 1890, p. 387 ff.: Elektrotechn. Zeitschrift 1891, p. 707, Uppenborn.

[3]) Vergl. Heyland, Elektrotechn. Zeitschrift 1896, p. 633; Behrend, Elektrotechn. Zeitschrift 1897, p. 165 und G. Kapp, Elektromechanische Constructionen p. 32.

Digitized by Google

Dem Leerstrom J_m entspricht ein Hauptfeld $\overline{CH}$, das sich mit dem primären Streufelde $\overline{AC'}$ zum Gesamtfelde $\overline{AH}$ des Erregerteiles und mit dem sekundären Streufelde CC′ zum Felde des Kurzschlussankers G′H zusammensetzt. Dieses letztere Feld induziert den sekundären Kurzschlussstrom $J_2 = C'C$, steht also $\perp$ auf CG′, so dass G′ sich auf einem Halbkreise über $\overline{CH}$ bewegt.

Fig. 13.



Die EMK steht senkrecht auf dem Leerstrome oder dem ihm proportionalen Erregerfelde und eilt ihm um 90° vor.

Es bleibt also das Erregerfeld konstant; aber der Magnetisierungsstrom bleibt nicht konstant, sondern ändert sich mit der Belastung und der Sekundärstrom steht wegen der Streuung nicht mehr senkrecht zum Magnetisierungsstrome.

Digitized by Google

Fig. 13 [1]) zeigt die charakteristischen Kurven des Induktionsmotors nach Steinmetz. Man erkennt, dass mit wachsender Leistung die Schlüpfung anfangs wenig, dann stärker zunimmt, dass der Motor also elektrische Energie aufnimmt und mechanische Energie abgibt, dass der Motor aber, wenn die Schlüpfung zu gross wird, aus dem angenäherten Synchronismus fällt. Wird ihm mechanische Kraft zugeführt, so arbeitet er trotz seines Kurzschlussankers wie eine Dynamo und dann kann er bei entsprechender Felderregung ebenso wie ein synchroner Motor zur Phasenregelung Verwendung finden.

Fig. 14.

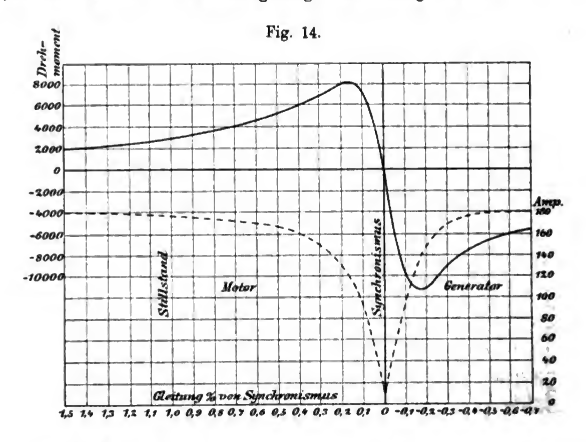


Fig. 14 [2]) gibt die Werte des Drehmomentes für einen guten Motor in Abhängigkeit von der Gleitung oder Schlüpfung s. Dasselbe ist o für s = o, d. h. für Synchronismus, nimmt mit zunehmender Gleitung, d. h. mit abnehmender Geschwindigkeit anfangs zu und nach Erreichung eines Maximums allmählich wieder auf den Wert des Drehmomentes beim Stillstande s = 1 ab. Wird die Gleitung noch weiter vergrössert, so entspricht dies der Umkehrung der Rotationsrichtung; das Drehmoment behält seine Richtung bei und nimmt weiter ab, es wirkt aber jetzt der Rotationsrichtung entgegen und erfordert somit zu seiner Ueberwindung die Zuführung mechanischer Leistung. Wird der Syn-

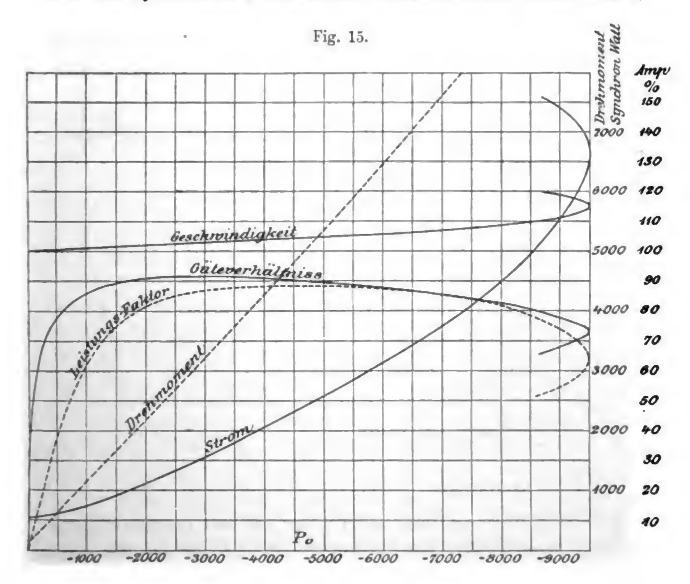
[1]) Elektrotechn. Zeitschrift 1897, Heft 49, p. 716, Fig. 3.

[2]) Elektrotechn. Zeitschrift 1897, p. 709, Fig. 10.

Digitized by Google

chronismus überschritten, d. h. s = o gemacht, so kehrt das Drehmoment sein Vorzeichen um, während die Rotationsrichtung dieselbe bleibt, es entspricht also auch der negative Teil der Kurve des Drehmomentes, der dem vorbesprochenen positiven Teile ganz ähnlich gestaltet ist, der Aufwendung mechanischer Leistung; allerdings erreicht der negative oder Generatorteil der Drehmomentkurve des als Generator oberhalb des Synchronismus betriebenen Induktionsmotors höhere Werte,

Fig. 15.

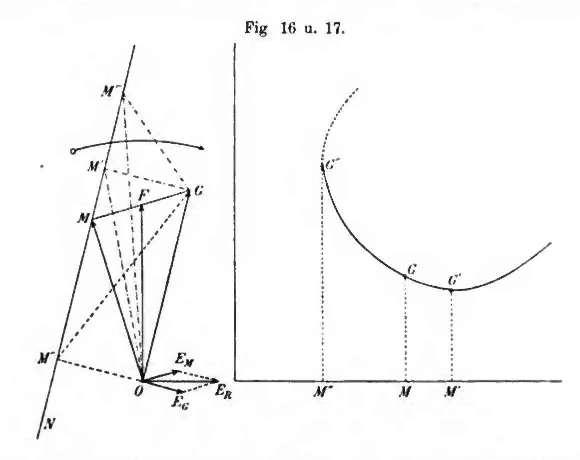


so dass er als Dynamo oberhalb des Synchronismus grösseres Drehmoment erfordert, wie er ebensoviel unterhalb des Synchronismus als Motor selbst leisten würde. Die Belastungskurven (Fig. 15) des als Generator betriebenen Induktionsmotors verlaufen ganz ähnlich denen beim Betriebe mit $1 > s > o$, nur dass jetzt mit wachsender Belastung die Geschwindigkeit wächst. Der Induktionsgenerator kann also nur dann als Bremse wirken, wenn der äussere Stromkreis jene Forderungen an ihn stellt, die seiner Natur entsprechen. Er kann

Digitized by Google

einen bestimmten Strom nur bei einem bestimmten Leistungsfaktor ergeben und in dem mit ihm übereinstimmenden Stromkreis müsste also ein bestimmter Strom ebensoviel Voreilung besitzen, als derselbe Strom im Induktionsgenerator nacheilt. Der Motor ist oberhalb und unterhalb des Synchronismus nur stabil zwischen dem Maximum des Drehmomentes, jenseits dieser Grenzen ist er unstabil, d. h. er läuft als Motor selbstthätig an oder fällt als Induktionsgenerator in Synchronismus zurück. Er könnte deshalb oberhalb des Synchronismus verwendet werden, um Ferrantieffekte zu anullieren. Hierauf beruht das

Fig 16 u. 17.



D.R.P. Nr. 84855 von Hutin und Leblanc, das zur Aufrechterhaltung des synchronen Ganges eines Synchronmotors die Kuppelung mit einem asynchronen Motor versieht.

Damit haben wir jedoch eigentlich schon ein anderes Gebiet betreten, dem wir uns jetzt zuwenden wollen.

8. Rotierende Phasentransformatoren. Der rotierende ideale Phasentransformator ist der Synchronmotor (Fig. 16). Soll von einer Wechselstrommaschine aus ein synchroner Motor betrieben werden, so fallen die Klemmenspannungen beider Maschinen und somit die ihnen entsprechenden resultierenden[1]) Feldampèrewindungen $\overline{AF}$ zusammen

[1]) A. Heyland, Elektrotechn. Zeitschrift 1896, p. 633.

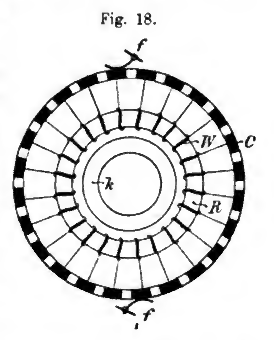
Digitized by Google

(Fig. 16) und der Strom J_a in beiden, also die ihm entsprechenden Ankeramp̀erewindungen $\overline{FM}$ und $\overline{GF}$ besitzen gleiche Richtung und gleiche Grösse. Die induzierten EMK, E_G und E_M eilen aber im Generator der Netzspannung E_R vor und bleiben im Motor hinter ihr zurück. Die Voreilung des Stromes auf der Motorseite ist dadurch charakterisiert, dass die von O auf FM gefällte Höhe innerhalb des Dreiecks OFM liegt.

Untersucht man die bei konstanter Leistung und Netzspannung ER auftretende Veränderung der Beziehung zwischen Ankerstrom $J_a = \overline{FM}$ und Motorenerregung $\overline{OM}$ für variable Erregung, so hat man zu bedenken, dass konstanter Leistung konstanter Inhalt des Dreiecks OGM entspricht, dass also der Punkt M sich auf einer Geraden $\overline{MN}$ parallel $\overline{OG}$ bewegen wird. Minimaler Motorstrom ergibt sich für $\overline{GM'} \perp \overline{MN}$; trägt man alle erreichbaren Werte in ein rechtwinkeliges Koordinatensystem ein, so erhält man die von Mordey zuerst beobachtete V-förmige Kurve (Fig. 17), die in Polarkoordinaten einfach in einen Kreis übergeht[1]).

Bei Veränderung der Leistung verändert sich der Radius des Kreises. Es lässt sich also durch Uebererregung des Motors, also durch Vergrösserung der Komponente $\overline{AM}$ ein minimaler Strom herstellen. Bei stärkerer Erregung eilt der Strom vor, bei schwächerer bleibt er zurück; nur der Teil der V-Kurve unterhalb des Punktes G″ entspricht dem stabilen Gange.

Fig. 18.



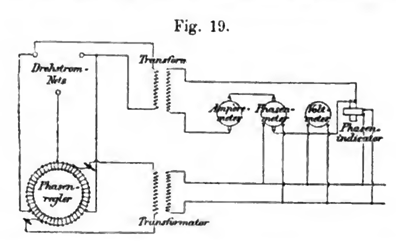
Einen von der A.E.G. zur Eichung der Dobrowolskyschen Phasenmeter benutzten Phasenregler hat K. Wilkens[2]) beschrieben. Er besteht im wesentlichen aus einem aus Blechscheiben zusammengesetzten Ringe r, der eine geschlossene Ringwickelung W trägt und im Innern mit einem unterteilten Eisenkern K ausgestattet ist. Der Wicklung W wird an drei um 120° versetzten Stellen Drehstrom zugeführt; sie ist wie bei einem zweipoligen Drehfelde angeordnet und infolgedessen wandert in ihr das Maximum der Induktion von Windung zu Win-

[1]) Blondel, Théorie des Moteurs synchrones 1895.
[2]) Elektrotechn. Zeitschrift 1896, p. 501.

Digitized by Google

dung. Die einzelnen Windungen W sind nun an eine Kontaktbahn C (Fig. 18) angeschlossen, auf der diametral die Federn F schleifen. Je nach der Stellung dieser Federn wird nun der mittels Schleifringen abgenommene Strom früher oder später sein Maximum erreichen; und man hat es durch passende Stellung dieser Federn in der Hand, die Phase des Stromes um einen beliebigen Winkel gegen die Phase der Spannung in irgend einem der Drehstromzweige zu verschieben. Für die Eichung der Phasenmeter wird die Verschiebung

Fig. 19.



90° gewünscht, damit man mittels eines gewöhnlichen Ampèremeters das den Leerstrom anzeigende Phasenmeter eichen kann. Die Erreichung der Phasenverschiebung, 90°, erkennt man mit Hilfe eines Ganzschen Wattmeters, dessen eine Spule vom Hauptstrom durchflossen wird, während die andere an die Spannungsklemmen angelegt ist; bei genau 90° Verschiebung zwischen Strom und Spannung zeigt dieses Instrument keinen Ausschlag an. Die bei der Eichung benutzte Schaltung zeigt Fig. 19.

9. Transformatoren des Formfaktors. Die bekannteste Form bei rotierenden Transformatoren des Formfaktors bietet eigentlich die Anwendung des Kommutators bei Gleichstrommaschinen, doch soll dies nur erwähnt, nicht weiter besprochen werden. Werden aus 2 um 1/4 oder 2/3 Periode versetzten Punkten einer Gleichstrommaschine Ströme zu 2 oder 3 Schleifringen geleitet werden, so kann von denselben Zweiphasen- oder Dreiphasenstrom entnommen werden. Die Wechselspannung ist dabei für Ein- und Zweiphasenstrom je nach der Polbreite 75 bis 82 %, für verketteten Dreiphasenstrom 65 bis 71 % der Gleichspannung [1]). Die erste Anordnung eines solchen Umformers für Einphasenstrom ist bereits 1887 von Coerper gegeben und durch ein D.R.P. Nr. 43538 geschützt worden.

[1]) Siehe Kapp, Elektromech. Konstr. p. 23.

Digitized by Google

Es ist also infolge der Umwandlung des Formfaktors eine Umwandlung der Spannung und der Stromstärke vor sich gegangen.

Auf ähnlicher Basis beruht die Anwendung der 3 Schleifringe zur Abnahme von Dreiphasenstrom für Werkstättenbetrieb und von 3 um 120° versetzten Punkten einer Gleichstromarmatur, die nach Kandós Patent, D.R.P. Nr. 90559, gleichzeitig zur Beleuchtung verwendet werden soll. Ferner gehört hieher die Dreileiterdynamo von Dolivo-Dobrowolsky[1], bei der die Ueberlappung zweier Ströme von verschiedenem Formfaktor nur in einem Teile des Stromkreises vor sich geht. Ferner gehören hieher alle sogenannten Phasentransformatoren, deren Name jedoch falsch gewählt ist. Sie transformieren wohl, wie z. B. der Scottsche ruhende Transformator, Zweiphasenstrom in Dreiphasenstrom, charakteristisch ist für sie aber die Umwandlung der Zahl der Stromphasen in eine andere Zahl, also die Umwandlung des Formfaktors, während die Umwandlung der Phase bei gegebenem Formfaktor eigentlich nur durch Reaktanzen bewirkt werden kann, wie eben erwähnt.

Unter diesen Transformatoren des Formfaktors sind in folgendem einige von den vielen vorgeschlagenen erwähnt.

a) Fig. 20[2]) stellt die Wirkungsweise des Pollackschen Wechselstrom-Gleichstrom-Umformers dar; man erkennt, dass die beiden Bürstenpaare ab, cd (Fig. 21), deren einzelne Bürsten um die Punkte F und G gegeneinander verstellbar sind, im stande sind, einen veränderlichen Teil des gleichgerichteten Stromes abzuschneiden. Dies ist erforderlich, sobald es sich um die Ladung einer Akkumulatorenbatterie mit der Gegen-EMK, MN (Fig. 20) handelt. Der von dem synchron laufenden Kommutator erzeugte pulsierende Gleichstrom war die aus Sinuslinie durch direkte Umklappung entstandene Kurve A, f, g, C_1, f_1, g_1, B. Es ist nun durch passende Wahl und Sättigung des Transformators möglich, eine etwas abgeflachte EMK, A, R, j, C, h_1, j_1, B, zu erhalten, und von dieser schneiden dann Bürsten durch den Kurzschluss zwischen den Lamellen, den sie zu erreichen gestatten, noch die Stücke unterhalb MN ab, so dass der gleichgerichtete Strom jetzt den pulsierenden Verlauf H, R, j, J_1, H_1, h_1, j_1, J_1 zeigt. Man erkennt den Vorteil der abgeflachten Kurven gegenüber dem aus der Sinuslinie erhaltenen Gleichstrome F, f, g, G_1, F_1, f_1, g_1, G_1 ohne weiteres aus der Figur. Der Gleichrichter besteht aus einem kleinen synchronen Motor, dessen verlängerte Axe den Kommutator trägt. Letzterer be-

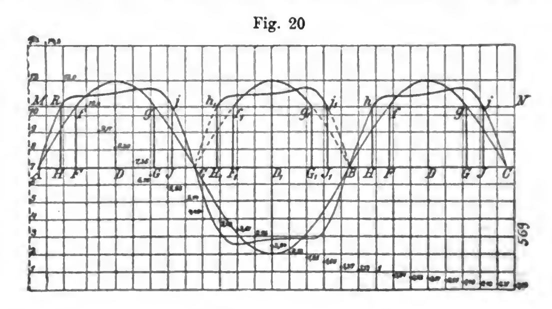
[1]) Elektrotechn. Zeitschrift 1894, p. 323.

[2]) Elektrotechn. Zeitschrift 1894, p. 109.


Digitized by Google

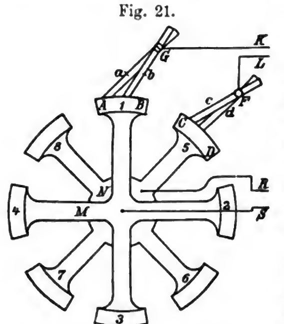
steht aus zwei voneinander isolierten Lamellensystemen (Fig. 21, 1, 2, 3, 4 und 5, 6, 7, 8), die mit zwei von einander isolierten Schleifringen MN verbunden sind. Einen ganz ähnlichen Kommutator trug seiner

Fig. 20



Zeit auch der synchrone Wechselstrommotor von **Ganz und Comp.** D.R.P. Nr. 50908, hier sollten die zwei leitenden verbundenen Bürstengrade ebenfalls einen Teil des gleichgerichteten Stromes abschneiden, um das Feuer am Kollektor zu vermindern.

Fig. 21.



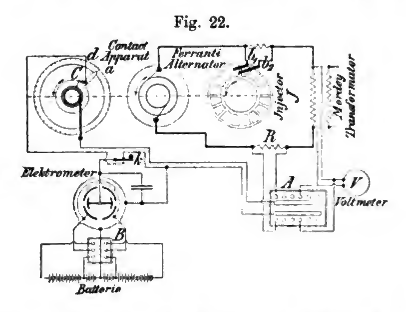
Aehnlich ist auch der Gleichrichter angeordnet, den **Ferranti** zur Speisung von Gleichstrombogenlampen aus Wechselstromnetzen anwendet. Er besteht nach **Hesketh**[1]) aus einem ruhenden Transformator, der primär Wechselstrom mit konstanter Spannung aufnimmt, ihn dann sekundär in Strom konstanter Stärke umwandelt und diesen Strom in einen synchron rotierenden Kommutator sendet, der die Umwandlung in Gleichstrom vollzieht. Die Anordnung zur Umwandlung des Stromes konstanter Spannung in solchen konstanter Stärke ist dabei, ähnlich wie bei Thomson, dadurch gegeben, dass die zwei primären Spulen feststehend, die vier Sekundärspulen dagegen auf den Schenkeln mit Gegengewichten verstellbar sind.

[1]) Electrician 37, p. 474.

Digitized by Google

b) Der Injektor. Dieser Apparat ist von Beeton, Taylor und Barr zur Untersuchung des Einflusses verschiedener Formfaktoren auf die Eisenverluste in Transformatoren verwandt und neu entworfen worden. Er besteht[1]) aus einem Kommutator mit doppelt so vielen Segmenten, als der Wechselstrom Perioden in einer Umdrehung besitzt, und dient nur dazu, die auf ihm schleifenden Bürsten während eines variablen Teils der Halbperiode kurzzuschliessen und mit ihrer Hilfe Widerstand oder Kapazität einzubringen. Er schliesst sich somit nahezu an die vorbeschriebenen Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer als eine Verallgemeinerung derselben an. Die Erfinder verwendeten eine Ferrantimaschine mit 8 Perioden per Umdrehung und einen Injektor J (Fig. 22) mit 16 Segmenten, auf dem die Bürsten b_1, b_2

Fig. 22.



schleiften. b_2 bestimmte den Moment, in welchem der Widerstand oder die Kapazität eingebracht wird, die Stellung von b_1 bestimmte die Dauer der Einschaltung. Die Bürsten c der normalen Joubertschen Kontaktvorrichtung dienten dazu, zuerst die Kurvenform zu bestimmen, und dann war es möglich, den Injektor so zu stellen, dass Widerstand oder Kapazität während genau einer Halbperiode injiziert und im Kreise belassen, während der anderen aber kurzgeschlossen wurden. Es ergeben sich dann aus einer und derselben Maschine nahezu sinusförmige, sehr spitze und sehr stumpfe oder doppelt gesattelte Kurven, so dass der Injektor ein sehr bequemes Mittel ist, den Formfaktor zu Untersuchungszwecken zu transformieren. A und B bedeuten Quecksilberumschalter zur Aufnahme der Spannungskurven mittels des Elektrometers E. R ist ein induktionsfreier Widerstand

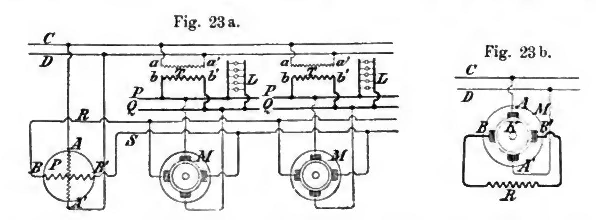
[1]) Electrician 37, p. 74, auch Elektrotechn. Zeitschrift 1896, p. 485.

Digitized by Google

zur Ermittelung des Verlaufes der Stromstärke im Primärkreise des zu untersuchenden sekundär offenen Transformators T.

c) Das Einphasen-Zweiphasensystem von Ferraris-Arno. Wird einem Zweiphasenmotor M nur in einem Spulensystem AA (Fig. 23a u. b[1]) einphasiger Wechselstrom zugeführt und sein Kurzschlussanker K in Drehung versetzt, so entsteht im zweiten auf einen

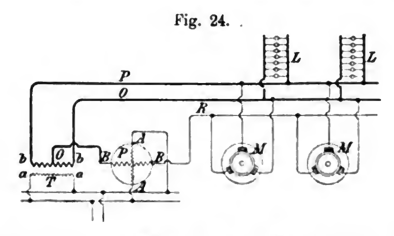
Fig. 23a. Fig. 23b.



Widerstand R geschlossenen Spulensystem BB eine um 90° gegen EMK verschobene EMK.

Bei geeigneter Wahl der Windungsverhältnisse kann natürlich ausser der Phasenverschiebung noch eine Umsetzung der Spannungen erzielt werden. Dieser Transformator kann also mit Fug und Recht den eigentlichen Phasentransformatoren zugezählt werden. Das System

Fig. 24.



aber, das durch ihn lebensfähig gemacht werden soll, ist streng genommen zu den Umformungsmethoden zur Erreichung anderer Formfaktoren zu zählen. Wenn der mittels des rotierenden Phasen- und Spannungsumformers AA', BB' aus den Einphasenleitungen erhaltene Zweiphasenstrom zum Betriebe zweiphasiger Motoren M verwendet werden soll (Fig. 23b), während der ursprüngliche Einphasenstrom

[1]) Elektrotechn. Zeitschrift 1896, p. 348.

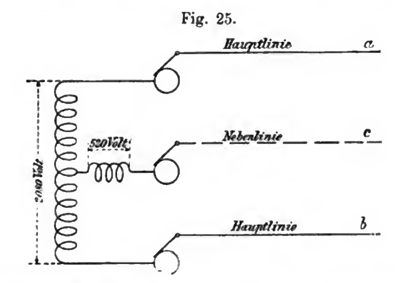
Digitized by Google

mittels der Transformatoren T zur Speisung der Lampen LL dienen soll, gilt die Schaltung Fig. 24. Fig. 25 zeigt, wie der so erhaltene Zweiphasenstrom mittels der Scottschen Schaltung in Dreiphasenstrom umgewandelt werden kann. Wir haben hier also eine Kombination ruhender und rotierender Transformatoren zur Erzielung eines zweckmässigeren Formfaktors für das Drehfeld.

Aus demselben Grunde wie das eben beschriebene System gehörte hieher auch das vielbesprochene monocyklische System. Sie verwenden beide ursprünglich ruhende Transformatoren zur Erzielung zweckmässigerer Formfaktoren für die Drehfelder der an Einphasennetze angeschlossenen Mehrphasenmotoren.

d) Das monocyklische System[1]. Der Name ist nicht sehr glücklich gewählt. Das System soll nach Steinmetz' Angaben nur

Fig. 25.



eine Modifikation des einphasigen Wechselstromsystems sein, die dasselbe zum Betriebe von Motoren mit grösserer Anzugskraft geeignet macht. Zu diesem Zwecke besitzt zunächst die Primärdynamo eine Hauptwickelung und eine Nebenwickelung, die zwei in der Phase und der Grösse verschiedene EMK liefern (Fig. 25.) Die beiden EMK sind um 90° gegeneinander verschoben, die Nebenwickelung liefert nur ein Viertel der Spannung der Hauptwickelung und ist mit ihrem einen Ende an die Mitte derselben angeschlossen, mit dem anderen an einen besonderen mittleren Schleifring angelegt. Da die Spannung der Nebenwickelung nur 25 % der Hauptspannung ist, beträgt die Spannungsdifferenz zwischen dem mittleren und einem der äusseren Schleifringe $\sqrt{0{,}25^2 + 0{,}5^2} = 0{,}57$ der Hauptspannung zwischen den beiden äusseren Schleifringen.

[1]) Elektrotechn. Zeitschrift 1895, p. 346, 389, 447, 586, 587, 597.

Digitized by Google

Die Schaltung der Motoren ist dabei etwas verschieden, je nachdem zwei Transformatoren gleicher Grösse oder ein Haupt- und ein Hilfstransformator verwendet werden. Im ersten Falle ist (Fig. 26 und 27) ab die primäre Haupt-, cd die primäre Nebenspannung und Ac und Cb sind die resultierenden Spannungsdifferenzen. Der Trans-

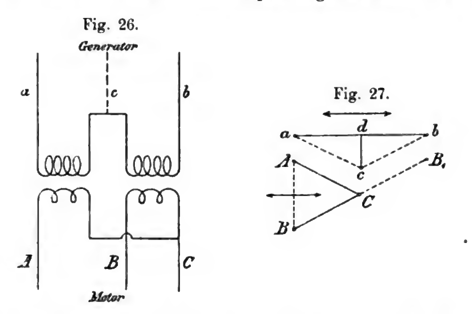


Fig. 26. Fig. 27.

formator setzt nun ab in AB um, cb zu CB um. Da aber die Sekundärspule des zweiten Transformators umgekehrt angeschlossen ist, ergibt sich als Dreieck der sekundären EM-Kräfte ABC. Der Strom in der Leitung C des Motors ist nahezu doppelt so gross als in B

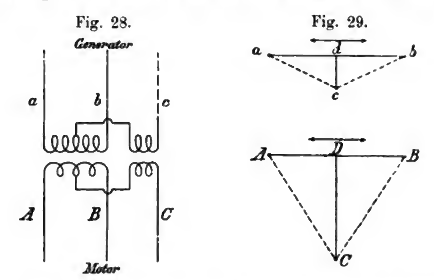


Fig. 28. Fig. 29.

und A und die Stromverteilung entspricht zwei parallel geschalteten, um etwa 60° gegeneinander verschobenen Einphasenwellen CA und CB.

Im zweiten Falle (Fig. 28 und 29) wird die Nebenspannung cd in anderem Uebersetzungsverhältnis transformiert, so dass das Dreieck ABC der sekundären EM-Kräfte wieder nahezu gleichseitig wird, während im Dreieck der primären EMK der Winkel bei c nahezu

Digitized by Google

120° war. Das System ist trotz der äusseren Aehnlichkeit verschieden vom Dreiphasensysteme, denn die EMK sind in der Intensität voneinander verschieden, die Ströme sind nahezu phasengleich untereinander und besitzen gegenüber den elektromotorischen Kräften die in Fig. 27 und 29 durch die Doppelpfeile angedeuteten Richtungen, wenn die Phasenverschiebung im Motor vernachlässigt wird, bei Berücksichtigung derselben sind sie noch etwas dagegen verspätet.

e) Der Panchahuteur [1]). Eine ganz von dem Ueblichen abweichende Lösung der Aufgabe, Wechselströme von beliebiger Spannung in Gleichströme von ebenfalls beliebiger Spannung umzuwandeln, haben Hutin und Leblanc [2]) vorgeschlagen und mit Erfolg ausgeführt. Sie gehen von dem Grundgedanken aus, dass bei einem Wechselstromumformer, dessen beide Stromkreise um denselben Magnetkern gewickelt sind, in den gegenseitigen Induktionen und in den Energieübermittelungen von einem Stromkreis auf den anderen nichts sich ändert, wenn entweder die Zahl der Windungen konstant bleibt und der Strom sich sinusförmig ändert oder der Strom konstant bleibt und die Zahl der Windungen sich sinusförmig ändert, vorausgesetzt, dass in beiden Fällen die Zahl der sinusförmigen wechselnden Ampèrewindungen dieselbe ist. Es sind zwei Ausführungsformen möglich. Bei der einen wird der primären, aus 2n gleichen Spulen bestehenden Wickelung Wechselstrom zugeführt, während die aus n Spulen mit sinusförmig zunehmender Windungszahl bestehenden sekundären Windungen auf denselben Eisenkern aufgebracht und an n gleichbreite Stege eines Stromwenders angeschlossen sind. Die Windungszahl der ersten Spule sei z. B. $Z \sin a$, dann ist die der zweiten $Z \sin\left(a + \frac{2\pi}{2n}\right)$, die der p-ten Spule $Z \sin\left(a + (p-1)\frac{2\pi}{n}\right)$. a bedeutet hierin eine willkürliche Konstante, Z eine konstante Windungszahl. Lässt man nun auf dem Stromwender zwei diametrale Bürsten mit der Geschwindigkeit $\frac{t}{T}$, d. h. synchron mit dem zugeführten Primärstrome laufen, so wandelt der Umformer die pro Windung des Primärkreises vorhandene Spannung $E_1 \sin\frac{2\pi}{T}$ um in eine gesamte EMK zwischen den Bürsten $E_2 = E_1 \,.\, Z \,.\, \sin^2\frac{2\pi}{T}$. Diese EMK hat also stets dieselbe Richtung, bleibt aber nicht konstant; will man also eine Akkumulatorenbatterie

[1]) Electrician 1894, Bd. 7, p. 254. — [2]) D.R.P. 78825 u. 82383.



mit dem so erhaltenen gleichgerichteten Strome speisen, so kann man entweder eine kräftige Drosselspule oder passende Kapazität einfügen. Bei der zweiten Ausführungsart werden die Sekundärspulen alle mit der gleichen Windungszahl gewickelt, indem man die eine Hälfte rechts von einem beliebig angenommenen Durchmesser nach rechts, die Hälfte links von diesem Durchmesser nach links wickelt und dann die Breite der Stromwenderstege in dem oben geschilderten Verhältnisse verändert. Will man Mehrphasenströme umwandeln, so kann man eine entsprechende und entsprechend verschobene Anzahl von Einphasenapparaten übereinander anordnen.

Es sind noch eine Menge anderer beachtenswerter Transformatorenmethoden erfunden worden, die alle darauf hinauslaufen, dem Formfaktor einen für bestimmte Zwecke besser geeigneten Wert zu verleihen. Eine nahezu vollständige Aufzählung derselben würde jedoch den Rahmen dieses Vortrages weit überschreiten.

Wir wenden uns deshalb zu den Methoden der Umformung der Periodenzahl.

10. Umformung der Periodenzahl. Sendet man in das Feld einer Wechselstrommaschine statt des zur Erregung dienenden Gleichstromes einen Wechselstrom gleicher Phase, so erhält man im induzierten Stromkreise Wechselstrom doppelter Periodenzahl.

Versetzt man in einem zweipoligen Felde, das mit Wechselstrom von $\sim$ sekundlichen Perioden erregt wird, zwei aufeinander senkrecht stehende und je in sich kurzgeschlossene Spulen in synchrone Rotation, so ergeben sich zwei Ströme [1]) von der Periodenzahl $\sim$, die um eine Viertelperiode gegeneinander verschoben sind. Ihre Magnetfelder setzen sich also zu einem Drehfelde zusammen, das 2mal so schnell rotiert als die Spulen. Wenn dieses Drehfeld entgegen den Spulen rotiert, so erhält man nur ein resultierendes Drehfeld mit der einfachen Periodenzahl; verwendet man aber eine von Korda vorgeschlagene Kombination solcher Spulen, so kann man das Drehfeld im Sinne der synchron rotierenden Spulen [2]) zum Umlauf bringen und einen Strom von dreifacher Periodenzahl erhalten.

Arnold hat ferner gezeigt, dass zwei zu einander senkrecht stehende, in sich oder durch Widerstände geschlossene Spulen bei synchroner Drehung innerhalb eines Wechselfeldes Ströme doppelter Pe-

---

[1]) Arnold, Elektrotechn. Zeitschrift 1893, p. 30; Korda, Elektrotechn. Zeitschrift 1893, p. 329.

[2]) Elektrotechn. Zeitschrift 1893, p. 355.

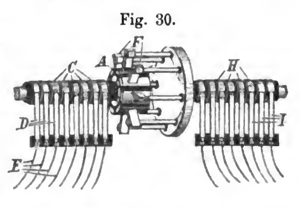
Digitized by Google

riodenzahl führen oder abzugeben vermögen. Dieser Fall ist wichtig zum Studium der Theorie der asynchronen Motoren [1]).

Die asynchronen Motoren selbst sind aber eigentlich schon als Transformatoren der Periodenzahl anzusehen, insofern sie, wie erwähnt, die primäre Periodenzahl im Verhältnis der Schlüpfung für ihren eigenen Sekundärkreis transformieren. Siemens und Halske sind so weit gegangen, den Mehrphasenmotor selbst als Umformer der Periodenzahl zu verwenden. Oeffnet man bei einem als Mehrphasenentwickelung ausgeführten Anker eines Mehrphasenmotors einen oder mehrere Ankerzweige, so kann man die Ankerwickelung in eine einphasige Wickelung umwandeln. Dann fällt, wie Görges gezeigt hat, die Umdrehungszahl des Motors auf die Hälfte [2]). Dasselbe kann auch erzielt werden durch Einschaltung von Regulierwiderständen in die Ankerstromkreise, wodurch der Formfaktor geändert wird [3]). Die Methode ist jedoch nach Angabe des Erfinders noch nicht vollkommen zuverlässig, da diese Störung im normalen Gange des Motors häufig nicht gerade die gewünschte Tourenänderung ergibt. Die Methode ist hier jedoch aus theoretischem Interesse beachtenswert, insofern sie eine beträchtliche Verminderung der Periodenzahl auf einen aliquoten Teil zulässt.

Der typische Fall eines mechanischen Periodentransformators wird jedoch durch die in Fig. 30 [4]) dargestellte Anordnung gegeben, die Professor Rowland patentiert ist [5]). Sie besteht aus einer Kombination eines Stromwenders A mit Schleifringen C und H, wobei je nach der Zahl der ableitenden Schleifringe H und Bürsten I und der relativen Geschwindigkeit des rotierenden Stromwenders A gegen die ebenfalls rotierenden Bürsten F der zugeführte Mehrphasenstrom in der Zahl der Perioden und der Phasen umgewandelt werden kann. Fig. 31 zeigt z. B. den Stromwender einer Gleichstrommaschine, deren Stromwenderstege sich ebenso wie die des Stromwenders A verhalten, an dessen acht Bürsten F acht Ringe H ange-

Fig. 30.



[1]) Arnold, Elektrotechn. Zeitschrift 1893, p. 256, ferner Ferraris, Electrician 33, p. 110 ff.

[2]) D.R.P. 87 754.

[3]) Siehe Görges, Elektrotechn. Zeitschrift 1896, p. 571, 737.

[4]) Elektrotechn. Zeitschrift 1897, p. 195.

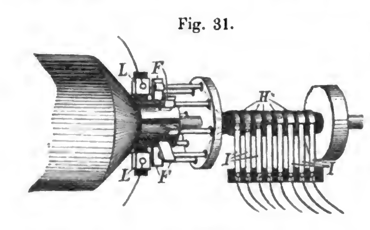
[5]) D.R.P. 88 806.

schlossen sind, von denen durch die Bürsten I 8phasige Wechselströme verschiedener Periodenzahl abgenommen werden können.

Rein elektrische Periodentransformatoren sind alle Resonanzerscheinungen, als insbesondere alle auf die Erreichung hoher Periodenzahlen oder kleiner Wellenlängen ausgehende Anordnungen.

Hertz war der erste, der in klassisch gewordenen Untersuchungen zeigte, wie man durch Abgleichung einer passend gewählten Induktanz und Kapazität beliebig kurze Wellen erhalten konnte, wie man also primäre Wechselströme durch Resonanzfall beliebig in der Periodenzahl und damit auch in der Spannung etwas formieren könne. Tesla war dann der erste, der diesen Strömen hoher Periodenzahl technische Verwertung zu erschliessen suchte; er ist auch heute noch fest von der Zukunft dieser Ströme überzeugt, und hat neuerdings den Oscillator patentieren lassen [1]), bei dem ein mit den Wellen des zugeführten Stromes synchron laufender Motor die Ladungen eines Kondensators derart bewirkt, dass die Zahl der Kondensatorenentladungen ein Vielfaches der Zahl der Perioden des zugeführten Wechselstromes ist. Zu den neuesten Anordnungen der durch Resonanz erzielten Umformung der Periodenzahl und Wellenlänge gehört auch die Ferntelegraphie, die auf Grund der Arbeiten von Righi, Lodge, Preece u. a. von Marconi vorgeschlagen und mit einigem Erfolge bereits versucht wurde.

Fig. 31.



Schlussbemerkung.

Ich habe mich bemüht, für die hauptsächlichsten Transformationsmethoden Beispiele zu geben.

Dies alles sind dem Fachmanne wohlbekannte Thatsachen, es sind alte Gedanken in einer neuen Form, einer neuen Beleuchtung; und wenn einigen von Ihnen durch diese vom Ueblichen abweichende Darstellungsweise ein bisher unbekannter Einblick in das etwas verwickelte Gebiet der Wechselstromtransformation erschlossen wird, ist der Zweck dieses Vortrages erreicht. Mathematische Betrachtungen sind sorgfältig, hoffentlich nicht zum wesentlichen Schaden des Ganzen vermieden worden.

[1]) D.R.P. 93255.

Digitized by Google

Ueber Motorelektrizitätszähler.

Von

Ingenieur **G. Hummel,** München.

Mit 13 Abbildungen.

Einer freundlichen Aufforderung folgend, will ich heute versuchen, Sie über Elektrizitätsmesser zu unterhalten. Ich sehe davon ab, Ihnen die geschichtliche Entwickelung dieser Apparate vorzuführen, obwohl diese reizende Momente bietet; ich will Sie vielmehr nur mit Motorzählern bekannt machen, weil diese gegenwärtig die grösste Bedeutung erlangt haben und voraussichtlich, wenigstens für die nächste Zukunft, hauptsächlich in Betracht kommen dürften.

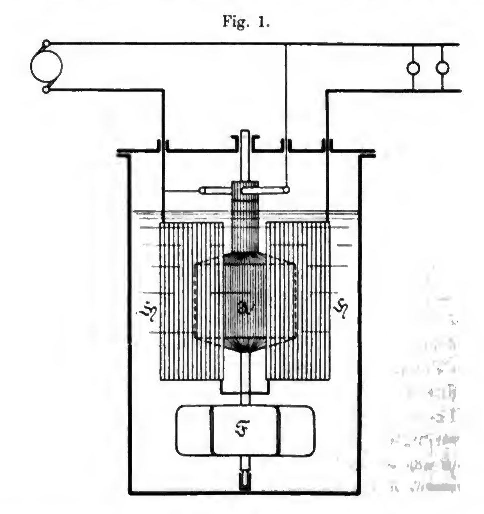
Auf diesem speziellen Gebiete gebührt Siemens das erste Verdienst, weil er zuerst einen solchen Zähler auf der Ausstellung in Wien praktisch vorführte. Der Apparat von Siemens (Fig. 1) bestand im wesentlichen aus einem kleinen eisenfreien Elektromotor, durch dessen Trommelarmatur A ein konstanter, zweckmässig von den Verteilungsleitungen abgezweigter Strom floss. Die erregenden Feldspulen H wurden von dem zu messenden Strome gespeist. Mit der Achse dieses Motors war direkt ein Flügelrad F verbunden, welches mit dem Motor in Oel lief und welches die vom Motor erzeugte Arbeit aufnahm.

Marcel Deprez hat später nachgewiesen, dass das Prinzip, auf dem der Apparat beruht, falsch ist. Der Beweis ist einfach zu führen. Die Zugkraft des Motors ist, weil der Anker von einem konstanten Strome durchflossen wird, proportional der Hauptstromstärke. Die Gegenzugkraft der Oeldämpfung ist dagegen annähernd proportional dem Quadrate der Tourenzahl. Bei einem richtig funktionierenden Apparate muss dagegen die Tourenzahl direkt proportional der zu

messenden Stromstärke sein. Der Apparat liefert demnach nur bei einer bestimmten Belastung richtige Angaben.

Deprez machte den bemerkenswerten Vorschlag, man solle die mechanische Dämpfung durch eine elektrische ersetzen. Dementsprechend sitzt auf der Achse des Siemensschen Motors eine Kupferscheibe, die in einem konstanten Magnetfeld läuft. Diese Scheibe hat man sich als Armatur einer kurzgeschlossenen Dynamo vorzustellen, in der bei der Rotation Ströme entstehen. Da das erregende Feld

Fig. 1.



konstant ist, ist die Stärke dieser Ströme proportional der Tourenzahl, und da die Gegenzugkraft gleichfalls proportional den erzeugten Strömen ist, ist demnach:

$$Z_d = c_1 n,$$

wobei Z_d die Gegenkraft der Dämpfung, n die Tourenzahl bedeutet. Andererseits ist die Zugkraft des Motors direkt proportional dem durch die erregenden Spulen fliessenden Verbrauchsstrom, also ist:

$$Z_m = c_2 . J,$$

wenn Z_m die Motorzugkraft, J die Stärke des zu registrierenden Stromes, c_2 eine Konstante ist. Da nun Motorzugkraft und Dämpfungsgegen-

Digitized by Google

zugkraft einander gleich sein müssen, abgesehen von den eventuellen Verlusten, so folgt:

$$Z_m = Z_d,$$

also

$$c_2 . J = c_1 n$$

$$J = \frac{c_2}{c_1} = C . n,$$

d. h. die Tourenzahl des Zählermotors ist proportional der zu messenden Stromstärke J.

Deprez machte in seinen geistreichen Auseinandersetzungen weitere Vorschläge, auf die ich jedoch nicht eingehen will, weil sie praktisch undurchführbar sind.

Ich habe früh mit diesem Zähler gearbeitet, aber gefunden, dass er in der Praxis nicht anwendbar ist, weil er erst zu funktionieren beginnt, wenn die erregende, also zu messende Stromstärke so gross ist, dass der Motor die unvermeidlichen Reibungen überwinden kann. Ich habe nun diesen Fehler dadurch zu eliminieren gesucht, dass ich den Nebenschlussstrom zuerst in einigen erregenden Windungen wirken liess. Die Zahl dieser Windungen wurde so gross gewählt, dass das System durch den Nebenschlussstrom allein nahezu zum Anlaufen gebracht wurde. Kam alsdann noch der geringste Hauptstrom hinzu, dann trat sofort Bewegung ein.

Im übrigen bestand mein Zähler, dessen Anordnung in Fig. 2 schematisch angegeben ist, im motorischen Teil aus den von dem Verbrauchsstrom durchflossenen Hauptstromspulen H und dem rotierenden, vom Spannungsstrom durchflossenen Anker A, welcher nach Art der gewöhnlichen Dynamoanker konstruiert ist.

N ist die von demselben Nebenschlussstrom erregte Kompensationsspule. Der bremsende Teil setzt sich zusammen aus der Metallscheibe D und einem oder mehreren konstanten Magneten, zwischen deren Polen die Scheibe D sich bewegte. In Fig. 2 sind hiefür permanente Magnete angenommen; dieselben können natürlich ohne Beeinträchtigung des Effektes auch durch konstant erregte Elektromagnete ersetzt werden.

In dieser Form wurde der Zähler mit Erfolg in die Praxis eingeführt und hat sich gerade infolge der günstigen Wirkung der Kompensationsspule N derart bewährt, dass er bereits in nahezu 200 000 Exemplaren verbreitet ist.

Verzichtet man bei dem Anker A auf die Anwendung von Eisen, so ist der Apparat direkt anwendbar für Wechselstrom, um so mehr, als er als absolutes Wattmeter die Phasenverschiebung genau berück-

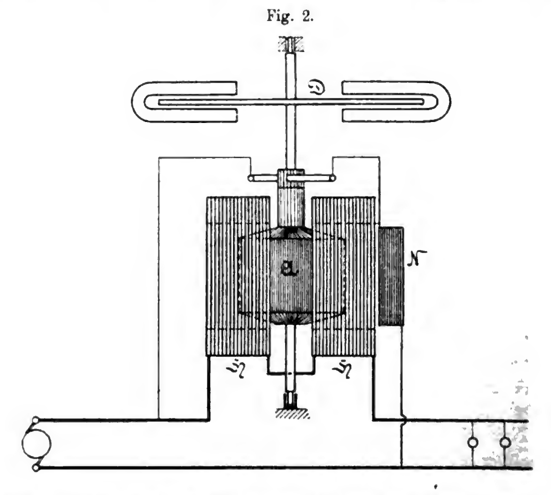
Digitized by Google

sichtigt. Allein er leidet unter dem schwerwiegenden Nachteil, dass er auf Bürsten und Stromabgeber angewiesen ist.

Immerhin dürfte ihm seine Einfachheit und Zuverlässigkeit speziell auf dem Gebiete der Gleichstromtechnik für die nächste Zeit ein beträchtliches Anwendungsfeld sichern.

Mit der ungeahnt lebhaften Entwickelung der Wechselstromtechnik und der ausgedehnten Verwendung alternierender Ströme zu Beleuchtungszwecken und zur elektrischen Arbeitsübertragung trat immer dringender die Aufgabe in den Vordergrund, zur Registrierung des

Fig. 2.



Wechselstromkonsums zweckmässigere Apparate zu konstruieren. In der Erkenntnis, dass die Anwendung von Motoren, welche besonderer Kommutatoren mit Schleifbürsten bedürfen, eine Reihe höchst nachteiliger Erscheinungen im Gefolge haben würde, war das Bestreben der Konstrukteure hauptsächlich darauf gerichtet, Motorzähler unter Verwendung von Wechselstrommotoren in gleicher Weise durchzubilden, wie sie für Gleichstrom bereits in Verwendung waren. Schon Ferraris hatte darauf hingewiesen, dass der von ihm erfundene Motor für Wechselstromzähler nutzbar gemacht werden könne. Unter Zugrundelegung der Ferrarisschen Ausführungen hat Blathy in durchaus origineller

Digitized by Google

Weise einen Zähler konstruiert, welcher heute noch zu den brauchbarsten einschlägigen Instrumenten zählt. Schallenberger und nach ihm Duncan und andere haben etwas abweichend davon auf die Verwendung des Nebenschlussstromes verzichtet und dadurch Instrumente erhalten, welche naturgemäss unter dem Nachteile leiden mussten, dass sie einerseits nur geringe treibende Kraft entwickeln, andererseits die Phasenverschiebung infolge induktiver Belastung nicht zu berücksichtigen vermögen und Proportionalität zwischen Stromstärke und Tourenzahl kaum zu erzielen gestatten, zudem lässt die Empfindlichkeit dieser Instrumente schon deshalb sehr zu wünschen übrig, weil der Motor erst dann zu laufen beginnt, wenn er im stande ist, die sämtlichen Eigenwiderstände zu überwinden.

Als fruchtbarer erwies sich die praktische Durchbildung der von Ferraris herrührenden Vorschläge, von welchen ich bei der Konstruktion meines neuen Zählers ausging, der lediglich für einphasigen Wechselstrom bestimmt war. Nachdem es insbesondere gelungen war, Eisen in ausgedehntem Masse zu verwenden und damit grosse Kraftäusserung bei kleinen Dimensionen zu erzielen, waren die Arbeiten in dieser Richtung sehr erfolgreich.

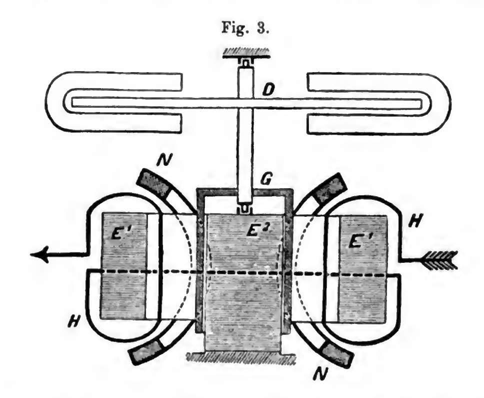
In seiner jetzigen Form enthält dieser Apparat einen Wechselstrommotor mit Kunstphase, der mit einer in einem konstanten Magnetfeld rotierenden Bremsscheibe kombiniert ist, so dass auch hier die charakteristischen Bestandteile der Motorzähler sich vorfinden; allein die ausserordentlich einfache Gestaltung des nach Ferrarisschem Prinzip ausgeführten Motors verleihen ihm eine grosse Ueberlegenheit über ältere Konstruktionen.

Wie aus Fig. 3 und 4 zu erkennen ist, wird der Motoranker lediglich durch eine Kupferglocke G repräsentiert, welche dem Einflusse der feststehenden induzierenden Armatur unterworfen ist. Letztere besteht aus dem lamellierten Eisenring E_1, welcher mit zwei getrennten Wickelungen armiert ist. Zwischen den vier Polen dieses Armatureisens E_1 rotiert die Kupferglocke G, in deren Inneren das feststehende Ankereisen E_2 untergebracht ist, welches durch Verminderung des magnetischen Widerstandes zwischen den Polschuhen eine Erhöhung des Effektes bewirkt. Die Hauptwickelung H, welche von dem Verbrauchsstrom durchflossen wird, ist nach Grammescher Art hergestellt, während die Nebenschlusswickelung in Rahmenform zwischen die Polansätze des Armatureisens E_1 gelegt wird. Die zwischen Haupt- und Spannungsstrom bezw. den entsprechenden Magnetfeldern erforderliche Phasenverschiebung um eine Viertelperiode wird entgegen den Kon-

Digitized by Google

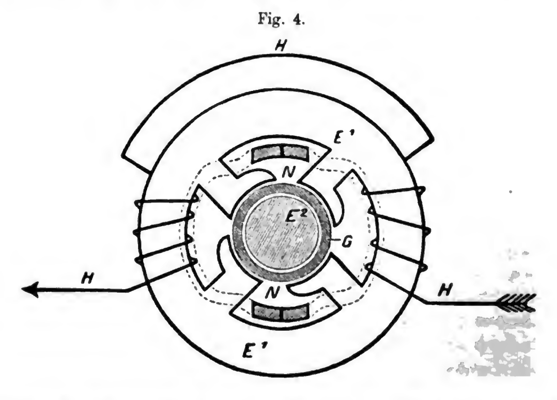
struktionsprinzipien der bisherigen Apparate durch einen regulierbaren induktiven Widerstand im Nebenschlussstromkreis erreicht. Die Arbeit

Fig. 3.



dieses Motors, welche, wie leicht einzusehen, direkt proportional dem Wattkonsum ist, wird vermittelst der in einem konstanten Magnetfeld

Fig. 4.



rotierenden Dämpfungsscheibe D konsumiert, so dass auch hier ein von der Zählerachse aus angetriebenes Zählwerk nach entsprechender Ueber-

Digitized by Google

setzung den Wattkonsum angibt. Wegen der im Nebenschluss erzeugten Phasenverschiebung von fast genau 90° liefert der Zähler sowohl bei induktionsfreien als auch bei induktiver Belastung im Hauptstromkreis zuverlässige Resultate. In äusserst bequemer Weise kann bei diesem Instrumente ohne jegliche Komplikation der ohnehin geringe Einfluss der Reibungswiderstände eliminiert werden. Schon durch den einfachen gedrängten Aufbau des Motors ist das Gewicht des rotierenden Teiles gegenüber den älteren Motorzählern wesentlich vermindert. Dazu kommt noch, dass die Kupferglocke unter dem Einflusse des pulsierenden Magnetfeldes einen nicht unbeträchtlichen elektromagnetischen Auftrieb erleidet (Thomsoneffekt), welcher eine für die Lebensdauer des Zählers ausserordentlich vorteilhafte Entlastung des rotierenden Systems bewirkt und eine bedeutende Steigerung der Empfindlichkeit des Apparates zur Folge hat. Um auch die noch verbleibenden minimalen Reibungswiderstände zu kompensieren, ist dafür Sorge getragen, dass der Nebenschluss allein schon eine Zugkraft am rotierenden Teil ausübt, welche annähernd hinreicht, die Reibung zu überwinden. Zu diesem Zwecke sind die Polansätze des Armatureisens E_1 mit einseitigen Hörnern versehen, welche die magnetische Symmetrie derart stören, dass an der Kupferglocke ein die Widerstände kompensierendes Drehmoment zur Geltung kommt. Infolgedessen vermag dann der Zähler schon auf die geringsten Hauptstromstärken zu reagieren.

Die wesentlichen Vorzüge dieses Instrumentes, welches ungemein rasche Verbreitung gefunden hat, sind also kurz folgende:

1. Stromabgeber und Bürsten fallen weg.

2. Der Anker ist ausserordentlich einfach, weil er nur aus einer Kupferglocke ohne jede Wickelung besteht.

3. Der Motor lässt die Verwendung von Eisen zu, wodurch bei geringstem Wattverbrauch des Zählers grösste Arbeitsleistung erreicht wird.

4. Der Zähler liefert sowohl bei induktionsfreier als auch induktiver Belastung des Hauptstromkreises richtige Angaben.

5. Das rotierende Gewicht ist sehr klein und wird durch den Thomsoneffekt noch teilweise gehoben, so dass die Belastung des Zapfens, dessen Reibung und Abnützung ausserordentlich vermindert wird.

Als weitere Vorzüge gesellen sich dazu: der einfache gedrängte Aufbau des Zählers, das geringe Gesamtgewicht, gefällige Form, hohe Betriebssicherheit, bequeme Ablesung vom Zählwerk etc.

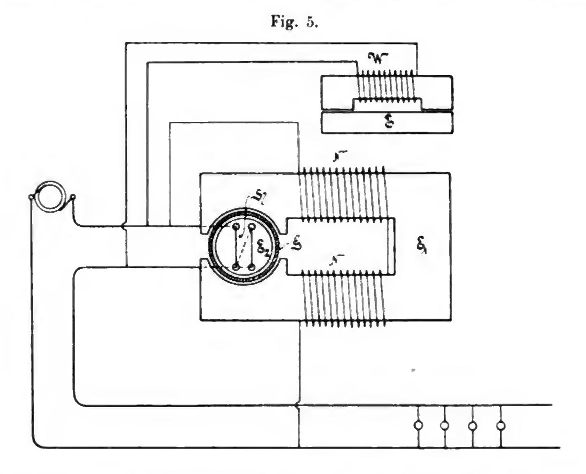
Eine davon abweichende Konstruktion verwende ich bei meinen

Digitized by Google

neuesten Wechselstromzählern für kleine Stromstärken, deren Aufbau durch Fig. 5 illustriert ist.

Wie beim eben erläuterten Zähler beruht auch die Wirkung dieses Instrumentes auf den Ferrarisschen Versuchen über die Bewegung eines Metallcylinders in einem magnetischen Drehfeld. Da jedoch erfahrungsgemäss die zu dessen Erzeugung erforderliche Phasenverschiebung von 90° im Spannungsstromkreis praktisch schwer zu erreichen ist, so suchte ich die Aufgabe: „Erzielung zweier um eine Viertelperiode gegeneinander verschobene Magnetfelder" dadurch zu lösen, dass ich sowohl im Nebenschluss- als auch Hauptstrom derartige

Fig. 5.



Verschiebungen künstlich erzeugte, dass zwischen den davon erzeugten Magnetfeldern die geforderte Verschiebung um eine Viertelperiode entsteht. Die Nebenschlusswickelung N umgibt die Schenkel des hufeisenförmigen lamellierten Eisenkörpers E_1, zwischen dessen Polen eine Aluminiumglocke G rotiert. Im Innern der Glocke befindet sich der verstellbar gelagerte Eisenkern E_2, welcher in entsprechenden Nuten die in der Regel aus nur wenigen Windungen bestehende Hauptstromwickelung H aufnimmt. Während durch die erstere Einrichtung erreicht wird, dass der Nebenschlusskreis mit hoher Selbstinduktion behaftet ist, mithin zur Erzielung einer entsprechenden Phasenverschiebung

Digitized by Google

keine weiteren Hilfsmittel erforderlich sind, verfolgt die Anordnung der Hauptstromwickelung im verstellbaren Ankereisen den Zweck, die Zugkraft des Motors innerhalb weiter Grenzen verändern, dem rotierenden Teil also beliebige Geschwindigkeit erteilen zu können. Die Phasenverschiebung, welche für den Hauptstromkreis des Zählers gefordert wurde, wird dadurch gewonnen, dass zur Wickelung H ein induktiver Widerstand W parallel geschaltet ist, dessen Einfluss durch Verstellen des Eisenkernes E entsprechend verändert werden kann. Ein wesentlicher Vorteil dieser Kombination ist darin zu erblicken, dass ein besonderes bremsendes System nicht erforderlich ist, weil die von dem Nebenschlussfeld auf die rotierende Aluminiumglocke ausgeübte Rückwirkung direkt dazu dient, die Arbeit des Zählermotors zu konsumieren. Dass auch bei diesem Instrument die Entlastung des Zapfens durch den Thomsoneffekt erfolgt und dadurch die Empfindlichkeit des Instrumentes sehr gesteigert wird, bedarf keiner weiteren Erklärung.

Schon im Jahre 1891 hat Aron nachgewiesen, dass die in Drehstromanlagen verbrauchte elektrische Energie durch die Summe zweier Wechselstromarbeiten zum Ausdruck gebracht werden, mithin auch die Messung der Drehstromarbeit direkt mittelst zweier Einphasenzähler erfolgen kann, deren Angaben zu summieren sind. Von derselben Ueberlegung ausgehend, habe ich zwei Einphasenzähler derart kombiniert, dass die beiden Armaturglocken auf gemeinsamer Achse sitzen, also die Summation selbstthätig erfolgt und ein von der Achse angetriebenes Zählwerk die gesamte Drehstromarbeit gibt. Durch eine besondere Schaltungsweise der Zählerstromkreise gelang es hiebei, die bei dem einfachen Zähler erforderliche Phasenverschiebung von 90° zu umgehen und dafür eine Verschiebung von nur 30° zu substituieren, deren Erreichung keine Schwierigkeiten verursacht, um so mehr, als im Motor selbst schon diese Verschiebung fast genau gewonnen wird. Da der Drehstromzähler im übrigen mit denselben Kompensationsvorrichtungen ausgestattet ist, welche bei dem Einphasenzähler eingehend besprochen wurden, so steht er sowohl in Bezug auf Einfachheit als auch Genauigkeit vollkommen auf der Höhe der modernen Elektrizitätszähler.

Die in einem Drehstromkreis konsumierte Arbeit kann als Summe der Arbeiten zweier einfacher Wechselströme dargestellt werden. Nach den Ableitungen von Aron und Behn-Eschenburg sind hiebei die in zwei Zuleitungen zirkulierenden Ströme jeweils zu kombinieren mit der Spannung, welche zwischen dieser Leitung und der dritten Leitung herrscht. Sind also, wie in Fig. 6 angedeutet, J_a, J_b, J_c die in den

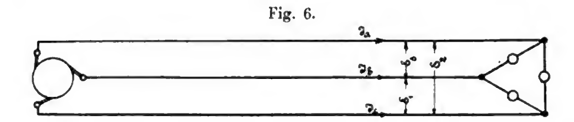
Digitized by Google

Hauptleitungen fliessenden Ströme, E_1, E_2, E_3 die zwischen diesen Leitungen herrschenden Spannungen, so ist die gesamte Drehstromarbeit:

$$A - J_a E_2 = J_b E_1.$$

Diese Arbeit wird durch Summation der von zwei Einphasenwechselstromzählern gemessenen Teilarbeiten gewonnen. Werden die beiden Zähler derart miteinander verbunden, dass ihre rotierenden

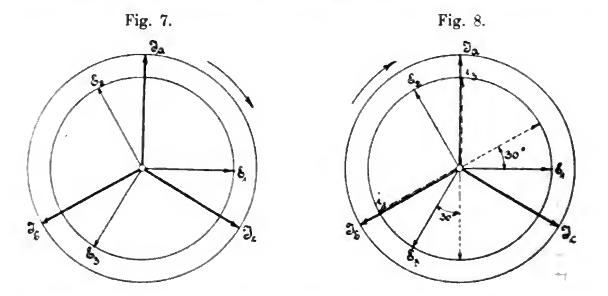
Fig. 6.



Anker auf gemeinsamer Achse sitzen, so vollzieht sich diese Summation selbstthätig und ein von der Zählerachse angetriebenes Zählwerk liefert direkt den gesamten Energiekonsum im Drehstromkreis.

Soll die Bestimmung der beiden Teilarbeiten vermittelst zweier Einphasenwechselstromzähler erfolgen, welche nach Ferraris' Prinzip gebaut sind, so müssen die Nebenschlussströme, mit Rücksicht auf die

Fig. 7. Fig. 8.



Eigenschaften des Ferrarisschen Drehfeldes um genau 90° gegen ihre Spannungen verschoben werden, wenn die Angaben der Instrumente auch bei induktiver Belastung der Stromkreise korrekt sein sollen. Wie das in Fig. 7 dargestellte Phasendiagramm für induktionsfreie Belastung zeigt, muss also der in dem Zählermotor I auftretende Spannungsstrom, welcher der Spannung E_2 entspricht, dieselbe Phase besitzen wie der Strom J_b; andererseits muss der im Nebenschluss des

Digitized by Google

Zählermotors II zirkulierende Spannungsstrom, welcher von der Spannung E_1 herrührt, in der Phase mit dem Strom J_a übereinstimmen. Es kommen also in den beiden Zählern je zwei Ströme zur Wirkung, welche in der Phase um 120° gegeneinander verschoben sind. Da nun bei den Drehstromnetzen in der Regel die absoluten Werte der Spannungen E_1, E_2, E_3 gleich gross und konstant gehalten werden, so ist es für die Wirkung der Nebenschlussströme vollkommen gleichgiltig, welche der drei Spannungen hiefür herangezogen wird, wenn nur die erforderliche Phasenfolge eingehalten wird. Aus diesem Grunde kombinieren wir in dem Zählermotor I den Hauptstrom J_a mit der Spannung E_1, in Zählermotor II den Hauptstrom J_b mit der Spannung E_3 und erreichen dadurch den Vorteil, dass diese Spannungsströme nach negativer Schaltung nur mehr um 30° gegen ihre Spannungen nach rückwärts zu verschieben sind. Wie aus dem Phasendiagramm Fig. 8 zu erkennen ist, erfüllen die so gewonnenen Spannungsströme i_1, i_3 die obigen Forderungen, vorausgesetzt, dass die absoluten Werte der Spannungen untereinander gleich sind.

Die Drehstromarbeit repräsentiert sich dann zu:

$$A = J_a\,(-E_1) - 30^0 - J_b\,(-E_3) - 30^0;$$

wenn durch die negativen Vorzeichen bei den Spannungen der Schaltungssinn, durch den Index — 30° die künstlich erzeugte Rückwärtsverschiebung der Ströme angedeutet wird.

Die nunmehr erforderliche Phasenverschiebung von 30° lässt sich unter allen Umständen leicht erreichen, um so mehr, als schon durch die induktive Wirkung des Eisens im Zähler selbst der Spannungsstrom eine Phasenverschiebung von mehr als 30° erleidet. Diese Phasendifferenz kann dann durch Vorschalten eines induktionsfreien Widerstandes von geeigneter Grösse auf genau 30° reduziert werden, so dass besondere induktive Widerstände nicht mehr erforderlich sind. Infolge der Höhe des Ohmschen Widerstandes gegenüber der relativ kleinen Selbstinduktion ist die Stärke des Nebenschlussstromes nur in geringem Masse von der Polwechselzahl abhängig.

Diesen Gesichtspunkten entsprechend besteht unser Drehstromzähler Fig. 9 und 10 aus zwei Einphasenwechselstrommotoren derselben Konstruktion, wie wir sie auch bei unseren Wechselstromzählern verwenden. Der induzierende Teil, welcher mit den erregenden Wickelungen armiert ist, wird von einem lamellierten Eisenring A gebildet, zwischen dessen vier Polansätzen die Kupferglocke G rotiert. Die Wickelungen der beiden Motoren sind in der aus Fig. 11 ersichtlichen


Digitized by Google

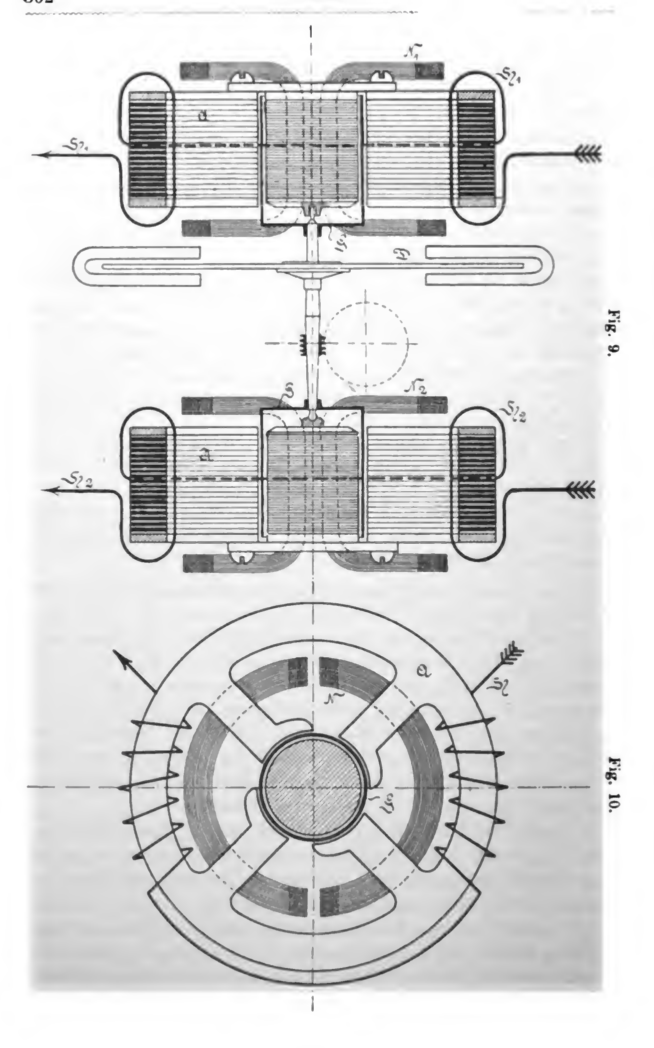


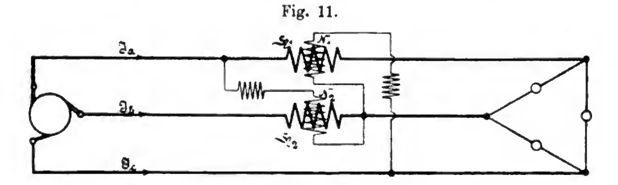
Fig. 9.

Fig. 10.

Weise an die Verbrauchsleitungen angeschlossen. Die beiden Kupferglocken sitzen auf gemeinsamer Achse, welche gleichzeitig die in einem konstanten Magnetfeld rotierende Dämpfungsscheibe D trägt und vermittelst eines Schneckentriebes ein Zählwerk antreibt. Letzteres gibt die verbrauchte Drehstromenergie direkt in Kilowattstunden an.

Durch den kompendiösen Bau des Instrumentes wird das rotierende Gewicht auf ein Minimum reduziert, so dass die Beanspruchung der Lager äusserst gering ist und die Reibungsverluste ungemein vermindert werden. Um den Zähler von der Einwirkung der letzteren vollkommen zu befreien und ihm grösste Empfindlichkeit zu sichern, erhalten die beiden Zählerarmaturen in der von den Wechselstromzählern bekannten Weise unsymmetrische Polansätze, so dass schon unter der Einwirkung der Nebenschlussströme allein ein Drehmoment auf die Armaturglocken ausgeübt wird, welches hinreicht, die Reibungswiderstände zu elimi-

Fig. 11.



nieren. Der Zähler reagiert deshalb schon auf die geringsten Ströme in den Hauptwickelungen.

Da es ohne Schwierigkeit gelingt, die theoretisch geforderte Phasenfolge der wirksamen Ströme zu erzielen, so berücksichtigt der Zähler die von induktiver Belastung herrührende Phasenverschiebung, so dass er sowohl für induktionsfreie als auch induktive Stromkreise allgemein anwendbar ist.

Die Querschnitte der Leitungen im Zähler sind so reichlich bemessen, dass vorübergehende Ueberlastungen keinen schädlichen Einfluss ausüben, weshalb speziell bei Motoren nur die normale Betriebsstromstärke für die Wahl der Zählertype massgebend ist.

Durch benachbarte stromführende Leitungen werden die Angaben des Zählers in keiner Weise beeinflusst, weshalb die Leitungen ausserhalb beliebig geführt werden können.

Da es für die richtige Funktion des Zählers unbedingt nötig ist, die angegebene Phasenfolge der Haupt- und Nebenschlussströme einzuhalten, so ist bei der Montage des Instrumentes für die richtige

Digitized by Google

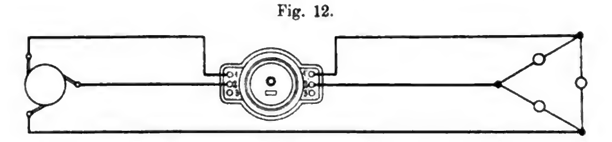
Verbindung der Klemmen mit den Leitungen Sorge zu tragen. Es ist deshalb folgende Schaltregel genau zu beachten:

Man schalte den Zähler in der aus Fig. 12 ersichtlichen Weise in das Drehstromnetz ein, so dass die Klemmen 3 und 3′ offen bleiben, und belaste die drei Zweige gleichmässig mit induktionsfreien Widerständen. Läuft nun der Zähler derart, dass die auf der Dämpfungsscheibe befindliche weisse Marke das Fenster von rechts nach links passiert, so ist die Verbindung richtig. Es ist hierauf der dritte Leiter zu den Klemmen 3 bezw. 3′ zu führen.

Läuft jedoch der Zähler nicht in dem angegebenen Sinne, so vertausche man die zu den Klemmen 1 und 2 führenden Leitungen, worauf wie vorher der dritte Leiter mit den Klemmen 3 bezw. 3′ zu verbinden ist.

Der verhältnismässig komplizierte Aufbau der Gleichstrommotoren lässt nicht erwarten, dass es gelingt, Motorzähler für Gleichstrom von derselben Einfachheit herzustellen, wie die Wechselstrominstrumente;

Fig. 12.

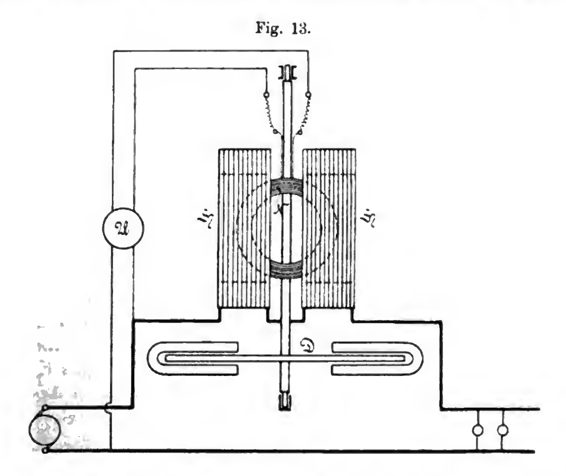


insbesondere erfordert die Kommutierung des Gleichstromes Konstruktionsglieder, welche die Empfindlichkeit dieser Instrumente im höchsten Grade beeinflussen. Allerdings lassen sich die mit der Anwendung des Kommutators verbundenen Reibungsverluste mit grosser Annäherung mittels eines Zusatzfeldes kompensieren, allein die Mängel der Kommutation werden dadurch nicht beseitigt. Ich habe deshalb bei meinem neuen Gleichstromzähler eine Idee aufgegriffen, welche bereits vor mehreren Jahren von anderen versuchsweise angewendet wurde. Um den bei Kommutatoren gewöhnlicher Konstruktion unvermeidlichen Gefahren zu begegnen, verzichte ich auf die Anwendung eines rotierenden Ankers vollständig und benütze als motorischen Teil eine eisenfreie Kombination, welche mit der bei Wattmetern üblichen Anordnung identisch ist. Zwischen zwei feststehenden Spulen H (Fig. 13), welche von dem Verbrauchsstrom durchflossen werden, ist eine Nebenschlussspule N drehbar gelagert. Letzterer wird der Spannungsstrom mittels biegsamer Leitungen zugeführt, so dass der Kommutator mit Schleifbürsten vollkommen wegfällt. Natürlich ist infolge dieser Strom-

Digitized by Google

zuführung die Bewegung der Armatur auf einen Bogen von maximal 180° beschränkt, weshalb stets, wenn die bewegliche Spule die äusserste Lage erreicht hat, der Strom in ihr umzukehren ist, um entgegengesetzte Drehung zu veranlassen. Die daraus resultierende oscillatorische Bewegung hat den Vorzug, dass als Bewegungswiderstände lediglich die Zapfenreibung und die Spannung der Stromzuführungen auftreten, Widerstände, welche nicht nur geringer sind als die Reibung von Schleifbürsten, sondern auch viel weniger zeitlichen Variationen unterworfen sind. Die von dem oscillierenden Motor geleistete Arbeit wird in bekannter Weise dadurch konsumiert, dass eine auf der Motor-

Fig. 13.



achse sitzende Metallscheibe D zwischen den Polen kräftiger permanenter Magnete schwingt. Da die Zugkraft des eisenfreien Motors direkt proportional dem Wattkonsum ist, die von der Dämpfung verbrauchte Arbeit proportional der Schwingungszahl (bezw. Geschwindigkeit) des Systems ist, so erfüllt diese Kombination die Forderung genauer Proportionalität zwischen Schwingungszahl der Armatur und Wattkonsum. Ein Zählwerk, welches die Schwingungen der Spannungsspule registriert, liefert nach entsprechender Uebersetzung die verbrauchte Energie in Wattstunden bezw. Hektowattstunden.

Um von dem Zählermotor alle störenden Einflüsse fern zu halten,

Digitized by Google

wird die Umschaltung des Stromes in der Spannungsspule vermittelst eines Relais bewirkt. Dieses wird nach jeder Schwingung der Armatur dadurch aktiviert, dass ein auf der Zählerachse sitzender Kontaktarm in der Endlage gegen feste Kontaktpunkte trifft, wodurch ein Teil der Relaiswickelung kurzgeschlossen wird. Dies hat die Bewegung des Relaisankers zur Folge, welcher seinerseits die Umschaltevorrichtung U bethätigt und den Antrieb des Zählwerkes bewirkt.

Die Eliminierung der Zapfenreibung und der Spannung der Stromzuführungen zum oscillierenden Teil erfolgt vermittelst eines kleinen eisenarmierten Hilfsmotors, dessen Anker auf der Zählerachse sitzt. Die Wickelungen dieses Hilfsmotors liegen mit der Spannungsspule und den Wickelungen der Relaismagnete hintereinander geschaltet in demselben Nebenschlusskreis, in welchem mit Rücksicht auf die ausserordentliche Empfindlichkeit des Instrumentes nur ein Strom von etwa 0,02 Ampère erforderlich ist.

Ich will nicht unerwähnt lassen, dass unabhängig von mir Herr Lotz (Ragaz) in gleicher Richtung thätig war und einen oscillierenden Gleichstromzähler konstruierte, welcher im Prinzip mit meinem eben erklärten Zähler identisch ist.

Dieser Zähler lässt sich auch noch in einer Variation ausführen. Man kann ohne weiteres die Hauptstromspule mit der Nebenschlussspule vertauschen. Dann kann man ferner statt des ganzen Hauptstromes nur einen kleinen Bruchteil desselben verwenden. Statt des Nebenschlussfeldes aus vielen dünnen Windungen kann man auch einen permanenten Magneten wie beim d'Arsonvalgalvanometer anwenden und diesen gleichzeitig zur Dämpfung in Kombination mit einer Kupferglocke benützen. Das Instrument liefert den Stromkonsum direkt in Ampèrestunden.

Digitized by Google

Scheinwerfer und Fernbeleuchtung.

Von

F. Nerz in Nürnberg.

Mit 36 Abbildungen.

Bei dem rastlosen Treiben unserer Zeit kann die Nacht nicht mehr ganz und nicht für alle zum Ruhen benützt werden, das eifrigste Streben des Menschen geht dahin, die Nacht womöglich zum Tag zu machen, d. h. Lichtquellen zu schaffen, die das Tageslicht ersetzen sollen. Die Sonne, der Urquell unseres Lichtes, deckt am Tage unsere Bedürfnisse in ausgiebigster Weise. Das uns zukommende Mass von Licht ist durch die Entfernung der Erde von der Sonne bestimmt. Wir schwelgen in diesem Lichte als etwas Selbstverständlichem, unsere Augen haben sich den bestehenden Verhältnissen angepasst. Was brauchen wir uns Rechenschaft zu geben, ob uns das von der Sonne zugestrahlte Mass von Licht auch zuträglich sei; wir vertrauen auf die Weisheit der Schöpfung, dass sie uns das zugeteilt habe, was wir eben brauchen, dass wir weder zu viel noch zu wenig erhalten.

Die Erde bringt uns durch ihre Drehung in wohlthuendem Wechsel Tag und Nacht für unser Schaffen und unsere Ruhe. Je nach der Lage des von uns bewohnten Erdteils zur Sonne oder der Beschaffenheit der Atmosphäre ändert sich tagsüber die Menge des uns zukommenden Lichtes. Soweit unser Organismus diese Verschiedenheit des Lichtes nicht ertragen kann, sind wir mit Einrichtungen ausgestattet, die eine Regelung innerhalb gewisser Grenzen zulässt. Das Auge, unser vornehmstes Organ, welches uns zur Wahrnehmung alles dessen befähigt, was um uns her vorgeht, verträgt nur eine bestimmte Lichtmenge, d. h. der auf die Flächeneinheit der Netzhaut unseres Auges fallende Lichtstrom darf ein bestimmtes Mass nicht überschreiten.

Digitized by Google

Die getroffenen Sehnerven wirken auf die Regenbogenhaut ein und veranlassen eine Verkleinerung ihrer Oeffnung, wenn der empfangene Lichtstrom zu stark, und eine Vergrösserung, wenn derselbe zu schwach ist. Diese Oeffnung in der Regenbogenhaut, die Pupille, bildet demnach einen Regulator für den auf die Netzhaut fallenden Lichtstrom. Wir können diesen Vorgang beim Menschen und beim Tiere täglich beobachten. Ist das Auge auf helle, von der Sonne beleuchtete Gegenstände gerichtet, so verkleinert sich die Pupille mehr und mehr; sie ist am Abend stets grösser als mittags, und wird um so grösser sein, je weniger Licht von den beobachteten Gegenständen in unser Auge gelangt. Der Verengung als auch der Erweiterung der Pupille sind durch die Einrichtung des Auges bestimmte Grenzen gesetzt. Muten wir den beteiligten Organen, Netzhaut und Regenbogenhaut, zu viel zu, so versagen sie den Dienst; sie ermüden, und wenn wir sie zu zwingen suchen, so werden Schmerzgefühl und schliesslich dauernde Schädigung die Folge sein. Die Regelungsfähigkeit der Pupille bewegt sich aber in ziemlich weiten Grenzen; wir lesen ohne Anstrengung eine Druckschrift, welche mit einer Helligkeit von 10 Meterkerzen (Lux [1]) beleuchtet ist; das gleiche Schriftstück lesen wir, wenn es an hellen Sommertagen von der gesamten Himmelshemisphäre beschienen ist. Haben wir auch im letzteren Falle die Augen etwas weiter vom Schriftstück entfernt, so kommt dies dem Helligkeitsverhältnis gegenüber kaum in Betracht; den Hauptausgleich verdanken wir der Thätigkeit der Pupille.

Wenn wir uns zur Aufgabe machen, einen Ersatz für die Sonne zu schaffen, so ersehen wir schon aus Vorstehendem, dass wir in vielen Fällen mit bedeutend schwächeren Lichtquellen auskommen werden.

Für die Befriedigung unserer häuslichen Bedürfnisse besitzen wir im Petroleum und Gas Lichtquellen, mit denen wir lange Zeit gut ausgekommen sind. Bei den grossen Fortschritten, die in der Gasbeleuchtungstechnik gemacht wurden, könnte diese Beleuchtungsart auch für Fabriken, Strassen und Plätze noch genügen. Sobald es sich aber darum handelt, von einem gegebenen Punkt aus entfernte unzugängliche Plätze so zu beleuchten, dass wir einzelne Gegenstände unterscheiden können, reichen die genannten Mittel nicht mehr hin.

Um von einem Kriegsschiffe aus Torpedoboote in solcher Entfernung entdecken zu können, dass ihr Angriff erfolgreich abgewiesen werden

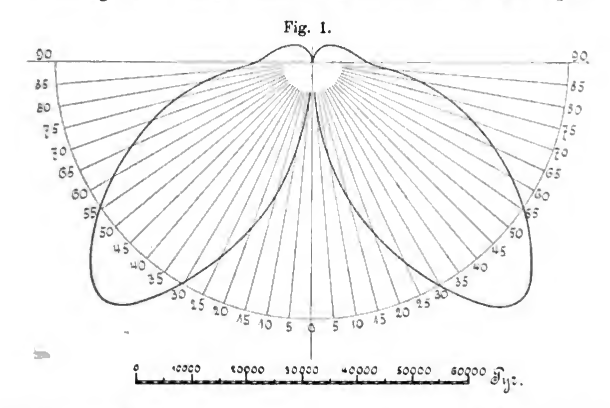
[1]) In der Folge setzen wir für „Meterkerze“ und „Normalkerze“ die neu eingeführten Bezeichnungen „Lux“ und „Pyr“. Näheres über diese photometrischen Grössen siehe Blondel, Elektrotechn. Zeitschrift 1894, S. 473.

Digitized by Google

kann, nach dem heutigen Stande ungefähr 1000 m, genügt eine kräftige Vollmondbeleuchtung. Wir wollen nun untersuchen, ob es uns möglich ist, eine solche zu schaffen.

Der Vollmond beleuchtet unsere Erdoberfläche mit einer Helligkeit von rund 0,16 Lux. Um diese Helligkeit von einer 1000 m entfernten Lichtquelle zu erhalten, müsste diese eine Stärke von 160 000 Pyr besitzen. Als unsere stärksten Lichtquellen gelten zur Zeit solche, die einen Gleichstrom von 150 Ampère verbrauchen. Fig. 1 zeigt das Ausstrahlungsdiagramm einer solchen Lampe. Wir sehen, dass unter ca. 45° die Zone grösster Intensität liegt; diese können wir für Fernbeleuchtung leider nicht benützen, da sie bei einer Entfernung von

Fig. 1.

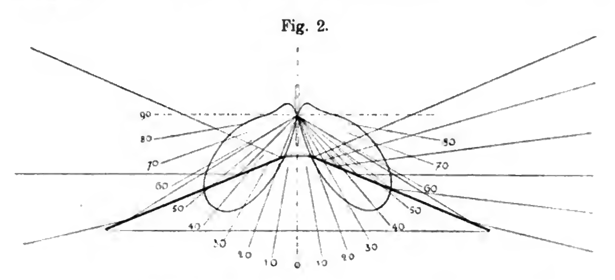


1000 m eine Aufstellungshöhe von 1000 m bedingen würde. Sind wir aber auf eine Aufstellungshöhe von etwa 20 m angewiesen, so können wir nur mit einer Lichtstärke von rund 11 000 Pyr rechnen und das gäbe in 1000 m Entfernung eine Helligkeit von nur 0,011 Lux. Mit frei brennenden Lichtquellen kommen wir also nicht zum Ziele. Die Beleuchtung in der nächsten Umgebung, auf welche man am liebsten ganz verzichten wollte, ist viel zu stark; in grösserer Entfernung hat man eine durchaus unzulängliche Beleuchtung. Könnten wir Mittel finden, das Licht, welches auf die Beleuchtung der nächsten Umgebung nutzlos verwendet wird, zur Fernbeleuchtung mit heranzuziehen, so würden wir schon viel gewinnen. Denken wir z. B. die aus der Zone höchster Intensität kommenden Lichtstrahlen, denen nach obigem Dia-

Digitized by Google

gramm eine Intensität von rund 58 000 Pyr zukommt, von einem kegelförmigen Spiegel (Fig. 2) so abgelenkt, dass sie in einem Umkreis von 1000 m Entfernung die zu beleuchtenden Gegenstände treffen, so würden wir schon bessere Ergebnisse verzeichnen. Würde der auf einen beispielsweise in 1 m Entfernung angebrachten Spiegel fallende Lichtstrom unabgelenkt bis zu 1000 m Entfernung gelangen, so würde er dort eine 10^6fach grössere Fläche beleuchten, die Helligkeit würde also hier nur mehr 0,000001 der ursprünglichen betragen. Durch die Ablenkung am Spiegel wird die in 1000 m Entfernung beleuchtete Fläche abermals vergrössert und zwar im Verhältnis der Sinus der Ausstrahlungswinkel. Das Licht würde also nochmals im umgekehrten Verhältnis geschwächt, so dass im vorliegenden Falle nur mehr eine Helligkeit von 0,04 Lux vorhanden wäre.

Fig. 2.



Der vom Kegelspiegel aufgefangene Lichtstrom umfasst einen ziemlich grossen Emissionswinkel, von welchem nur ein kleiner Teil für den beabsichtigten Zweck ausgenützt wird, alle über den Horizont hinausfallenden Lichtstrahlen verursachen einen unwiederbringlichen Verlust.

Setzen wir nun an Stelle des Kegelspiegels einen anderen, der dadurch hergestellt wird, dass eine Hyperbel (Fig. 3), die ihren einen Brennpunkt f im Lichtpunkte unserer Lampe hat, um eine durch diesen Lichtpunkt gehende Vertikalachse MN sich dreht, so werden die unter einem Emissionswinkel α auf den hyperboloidisch geformten Spiegel fallenden Strahlen unter einem anderen Emissionswinkel β zurückgeworfen, der durch die aus dem zweiten Brennpunkt f_1 der erzeugenden Hyperbel kommenden Fahrstrahlen begrenzt wird. Durch entsprechende Wahl der Hyperbel haben wir es in der Hand, das Verhältnis der Emissionswinkel mehr oder weniger günstig zu gestalten; die Be-

Digitized by Google

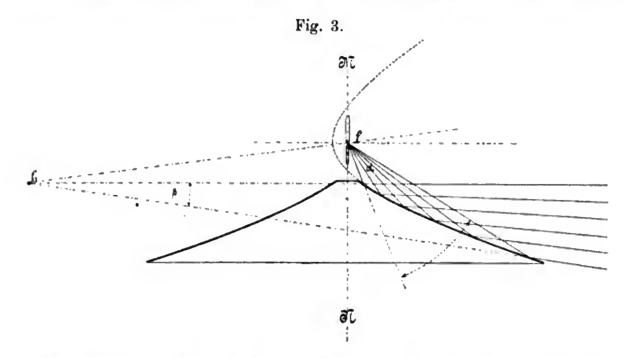
leuchtung wird dadurch gegenüber der nach Fig. 2 erhaltenen im Verhältnis der Winkelöffnungen der reflektierten Strahlen verstärkt.

Eine noch weitergehende Verstärkung werden wir erhalten, wenn wir statt der Hyperbel eine Parabel als Erzeugende einführen.

Schreiten wir an die Ausführung von Apparaten nach der letztbeschriebenen Anordnung, so finden wir sehr bald, dass wir, um von der Lichtquelle nicht gar zu viel zu verlieren, auf sehr grosse Ausmessungen des Hyperboloid- oder Paraboloidkegelspiegels kommen. Derselbe müsste in Grössen hergestellt werden, wie sie die ausführende Technik nicht zu liefern vermag.

Um das Möglichste zu erreichen, muss nach anderen Hilfsmitteln gesucht werden. Lassen wir den von einer Bogenlampe nach unten

Fig. 3.



austretenden Lichtstrom auf einen Paraboloid- oder Hyperboloidspiegel fallen, deren Achsen senkrecht stehen und deren Brennpunkte mit dem Lichtpunkte der Lampe zusammenfallen, so erhalten wir einen geschlossenen, nach oben zurückgeworfenen Lichtkegel, dessen Spitzenwinkel eine bestimmte Grösse annimmt. Stellen wir diesem Lichtstrahl einen passend geformten Kegelspiegel (Fig. 4), dessen Achse mit der des Sammelspiegels zusammenfällt, in den Weg, so können die Lichtstrahlen so zurückgeworfen werden, dass sie wie gefordert das Vorfeld in einem Umkreis von 1000 m Entfernung treffen und so weit hinaus beleuchten, als es durch den Spitzenwinkel des Lichtkegels beherrscht ist.

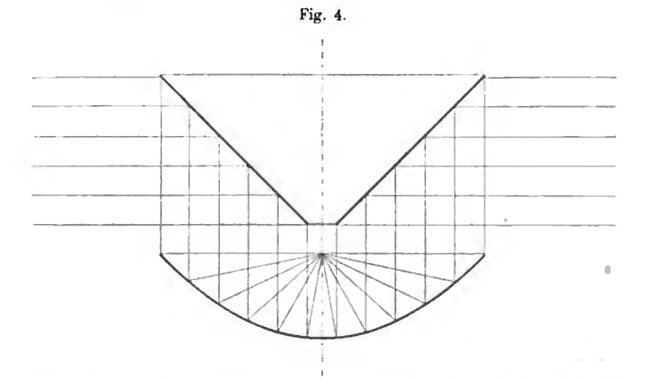
Mit der Verwendung eines Paraboloid- oder Hyperboloidspiegels kann der grösste Teil des von einer Gleichstromlampe ausgestrahlten Lichtes für den beabsichtigten Zweck gewonnen werden; der von einem

Digitized by Google

solchen Spiegel aufgenommene Lichtstrom könnte von einem Spitzenwinkel bis zu 180° begrenzt sein. Dieser Spitzenwinkel, gebildet durch die von der Lichtquelle nach dem Rande des Spiegels gezogenen Strahlen, soll in Zukunft Nutzwinkel genannt werden.

Um zu ermitteln, welchen Gewinn wir durch Vergrösserung des Nutzwinkels erhalten, müssen wir uns mit der räumlichen Verteilung des Lichtes einer Bogenlampe noch genauer vertraut machen. Werden die unter verschiedenen Ausstrahlungswinkeln gemessenen Lichtstärken in einer Kurve aufgetragen, so erhalten wir die in Fig. 1 veranschaulichte, schon besprochene Lichtverteilungskurve. Bei Beleuchtung einer gleich grossen Fläche in 1000 m Entfernung unter Verwendung von

Fig. 4.



verschiedenen Sammelspiegeln und derselben Lichtquelle steht die Helligkeit im Verhältnis des jeweils vom Sammelspiegel aufgefangenen Lichtstromes. Für einen bestimmten Nutzwinkel kann man den Lichtstrom ermitteln, wenn man die Spiegelfläche in sehr kleine Flächenzonen zerlegt, für diese einzelnen Zonen den Lichtstrom als das Produkt der mittleren Intensität und der durch die Zone ausgeschnittenen Fläche ausrechnet und die erhaltenen Produkte summiert.

Führt man diese Rechnung durch, so findet man, dass mit der zuletzt geschilderten Einrichtung der früher erwähnten gegenüber die Helligkeit in 1000 m Entfernung bis zum 6fachen erhöht werden kann. Wir würden also damit schon eine Helligkeit von 0,24 Lux erreicht, d. h. die der Vollmondbeleuchtung überschritten haben. Die

Digitized by Google

thatsächlich vorhandene Helligkeit bleibt aber weit hinter der gerechneten zurück, weil wir einen wichtigen Umstand, die Absorption in der Atmosphäre nicht in Rechnung gezogen haben. Wenn wir aber auch die gleiche Beleuchtung wie bei Vollmond feststellen, so werden wir doch 1000 m entfernte Gegenstände noch nicht gleich gut erkennen können. Bei Vollmond ist auch unsere nächste Umgebung mit einer Helligkeit von 0,16 Lux beleuchtet, bei der von uns geschaffenen Einrichtung sind näherliegende Gegenstände weitaus heller beleuchtet und der von diesen Gegenständen ins Auge gelangende Lichtstrom ist wesentlich stärker als der durch die Vollmondbeleuchtung hervorgerufene. Das von entfernten Gegenständen im Auge entstehende Bild ist deshalb in hohem Grade verschleiert; um es wahrzunehmen, muss die Beleuchtung erheblich stärker sein als die vom Vollmond erzeugte. Jedenfalls reichen die bisher beschriebenen Vorrichtungen nicht aus. Auch die in der Leuchtturmtechnik vielfach gebrauchten Fresnelschen Linsensysteme, die fast eine Ausnützung des ganzen von einer Bogenlampe ausgesandten Lichtstromes ermöglichen, geben keine genügende Steigerung der Beleuchtung.

In sehr vielen Fällen können wir uns begnügen, nur einen geringen Teil des Horizontes unter Licht zu setzen. Gelingt es uns, den ganzen Lichtstrom, den wir in Fig. 4 benützt haben, auf die Beleuchtung des sagen wir xten Teiles der Fläche des zuerst beleuchteten Vorfeldes zu verwenden, so können wir unsere Aufgabe als gelöst betrachten. Lassen wir z. B. in Fig. 4 den Kegelspiegel weg, so erhalten wir einen senkrecht in die Höhe steigenden Lichtstrahl. Dreht man nun Lampe mit Parabolspiegel um eine wagrechte Achse so weit, bis der Lichtkegel das Vorfeld in der gewünschten Entfernung trifft, so beleuchtet man letzteres in einer dem Spitzenwinkel des Leuchtkegels entsprechenden Ausdehnung. Nehmen wir diesen $= 3^0$ an, so hat das Licht gegenüber dem durch Fig. 4 gegebenen Beispiel im Verhältnisse 360/3, d. h. um das 120fache an Stärke zugenommen. Mit dieser letzten Aenderung sind wir auf eine Einrichtung gekommen, die uns den heute allerseits in Gebrauch befindlichen Scheinwerfer für Fernbeleuchtung darstellt.

Bevor wir uns mit diesem eingehender beschäftigen, sei ein kurzer Rückblick auf die thatsächliche Entwickelung des Scheinwerferbaues, die von der bisher geschilderten abweicht, gegeben.

Schon sehr frühe war man bemüht, Parabolspiegel in Verbindung mit verschiedenen Lichtquellen in den Leuchttürmen zu benützen. Als Spiegelmaterial diente Metall, welches nach und nach in den ver-

Digitized by Google

schiedensten Zusammensetzungen als „Spiegelmetall" verarbeitet wurde. Es war schwierig, Parabolspiegel aus solchem Metall genau herzustellen und auf die Dauer in gutem Zustande zu erhalten; sie ergaben eine geringe Rückstrahlungsfähigkeit und verloren sehr bald ihre Politur. Nach Versuchen verschiedener Forscher gehen bei der Zurückwerfung durch Spiegelmetall je nach der Beschaffenheit des Materials zwischen 30 und 45 % verloren.

Im Glas, welches in hohem Grade politurfähig ist und, mit Silber belegt, die höchste Rückstrahlungsfähigkeit besitzt, hatte man ein vorzügliches Spiegelmaterial; es scheiterten aber lange Zeit alle Versuche, Parabolspiegel aus Glas in genügender Genauigkeit herzustellen. Man wählte deshalb später als Ersatz die leichter zu schleifenden kugelförmigen Spiegel. Mit deren Einführung war man aber auf Anwendung kleiner Nutzwinkel angewiesen. Sobald man das Verhältnis des Spiegeldurchmessers zur Brennweite über eine gewisse Grenze steigern wollte, wurde die Abweichung der zurückgeworfenen Strahlen vom Parallelismus zur Achse so gross, dass ein Gewinn durch Vergrösserung der Spiegelfläche nicht mehr erzielt werden konnte.

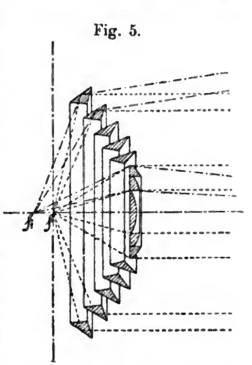
Nachdem Fresnel mit der Konstruktion von optischen Apparaten für Leuchttürme ganz bedeutende Erfolge erzielt hatte, wurde sein System auch für Scheinwerfer verwendet. Eine konvexe Glaslinse bildet ein vorzügliches optisches Mittel, um Strahlen, die aus deren Brennpunkt kommen, so zu brechen, dass sie alle nahezu parallel zur Achse der Linse austreten, solange der Durchmesser der Linse klein ist gegenüber ihrer Brennweite. Eine derartige Linse nutzt aber eine gegebene Lichtquelle nur in geringem Masse aus. Steigt das Verhältnis des Durchmessers zur Brennweite, wird also der Nutzwinkel grösser, so wird wie beim sphärischen Spiegel die Abweichung vom Parallelismus, die sphärische Aberration, bedingt durch die Kugelgestalt der Linse, erheblich; es nimmt die Farbenzerlegung des Lichtes und wegen der Dicke des Glaskörpers die Absorption in diesem zu.

Um diesen Uebelständen zu begegnen, setzte Fresnel seine Linsen aus konzentrischen Ringen (Fig. 5) zusammen. Ausserdem umgab er sie noch mit einem System von total reflektierenden Prismenringen, welche das über den linsenförmigen Körper hinausfallende Licht noch mit zur Beleuchtung entfernter Objekte heranzogen. Er erreichte dadurch, dass die sphärische Aberration durch Wahl entsprechender Krümmungsradien und die Absorption infolge geringer Dicke des Glases vermindert wurden. In den total reflektierenden Prismenringen war ein

Digitized by Google

vorzügliches Reflektionsmittel gefunden. Trotzdem konnten die Fresnelschen Apparate, die in der Leuchtturmtechnik heute noch unübertroffen dastehen, neueren Erfindungen gegenüber für Scheinwerfer das Feld nicht behaupten. Es war schwierig, die einzelnen Glasringe derart genau herzustellen, dass ihre Brennpunkte alle zusammenfielen; ausserdem behielten sie immer noch sphärische Abweichungen und Farbenzerlegung. Zudem erfolgte die Ablenkung der Lichtstrahlen bei einem Herausgehen der Lichtquelle aus dem Brennpunkte bei der Linsen- und Prismenanordnung in entgegengesetztem Sinne. Rückt z. B. in Fig. 5 die Lichtquelle aus dem gemeinschaftlichen Brennpunkt f heraus nach f_1, so werden die auf die Linsenringe fallenden Lichtstrahlen nach der Achse zu, die auf die Prismenringe treffenden von der Achse weg unter verschiedenen Winkeln gebrochen. Dadurch entsteht eine Verzerrung des Lichtbündels und damit eine Vergrösserung des beleuchteten Feldes, selbstverständlich unter Verminderung der Helligkeit.

Fig. 5.



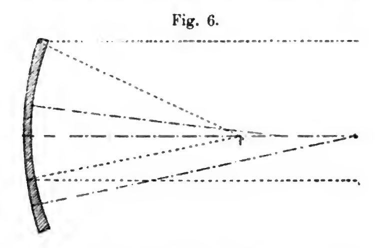
Ein ganz bedeutender Fortschritt wurde auf dem Gebiete der Scheinwerferkonstruktion gemacht, nachdem der französische Genieoberst Mangin gezeigt hatte, dass man bei sphärischen Hohlspiegeln die Abweichung von paralleler Reflexion fast vollständig aufheben könne, wenn man dem Glaskörper die Form einer schwachen Konvex-Konkavlinse gibt, statt ihn wie bisher durch parallele Flächen zu begrenzen. Durch die Linsenform erleidet der auf den Spiegel fallende und von der belegten Konvexseite reflektierte Strahl an der Vorderseite eine solche Brechung, dass die Abweichung vom Parallelismus infolge der Kugelgestalt der Hinterfläche nahezu aufgehoben ist. Mangin stellte das Gesetz für das Verhältnis der Krümmungshalbmesser der beiden Flächen fest und fand, dass die sphärische Abweichung praktisch als aufgehoben betrachtet werden könne, wenn der Durchmesser des Spiegels nicht grösser gewählt wird als seine Brennweite. Ein nach diesem Grundsatze von Sautter, Lemonier & Co. im Jahre 1876 angefertigter Spiegel, von welchem Fig. 6 ein Bild gibt, besass wie kein bis dahin verwendetes optisches Mittel in hohem Grade die Eigenschaft, aus seinem Brennpunkte empfangene Strahlen parallel der

Digitized by Google

Achse zu reflektieren. Dagegen konnte er der verhältnismässig grossen Brennweite wegen eine gegebene Lichtquelle nur in geringem Masse ausnützen, sein Nutzwinkel betrug etwa 60°. Nach verschiedenen vergeblichen Versuchen, den Nutzwinkel zu vergrössern, verkürzte später die Firma Sautter, Harlé & Co. die Brennweite des Spiegels und begnügte sich mit einer Annäherung an das von Mangin aufgestellte Gesetz.

Neben den Manginspiegeln tauchte bald ein neues System von Reflektoren für Scheinwerfer auf. Tschikolew in Petersburg griff auf den Parabolspiegel zurück, setzte ihn aber, da wirkliche Parabolspiegel aus Glas nicht herzustellen waren, aus sphärisch geschliffenen Ringen zusammen, deren Krümmungsmittelpunkt im Schnitte der Achse mit dem mittleren Krümmungsradius jenes Parabelstückes lagen, das sie ersetzen sollten. Siemens & Halske suchten mit diesem Spiegel eine weitere

Fig. 6.



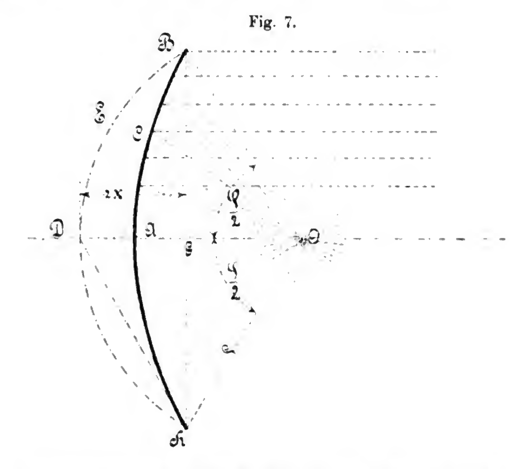
Annäherung an den Parabolspiegel dadurch zu erreichen, dass sie die Krümmungsmittelpunkte der einzelnen Ringe aus der Achse des Spiegels heraus und möglichst nahe an den mittleren Krümmungsmittelpunkt des entsprechenden Parabelstückes verlegten oder mit diesem zusammenfallen liessen. Die Herstellung dieser sogenannten Meniskenringspiegel ist mit vielen Schwierigkeiten verknüpft; sie haben, ähnlich dem Fresnelapparat, den Mangel, dass die Brennpunkte der einzelnen Bestandteile nicht leicht genau am gleichen Orte zu vereinigen sind, ferner, dass an den Fugen, selbst wenn die zusammenstossenden Flächen genau aneinander geschliffen sind, immer erhebliche Teile der Spiegelfläche für den beabsichtigten Zweck verloren gehen. Nachdem es Schuckert in Nürnberg im Jahre 1886 gelungen war, Glasparabolspiegel aus einem Stück nach einem ihm und Professor Munker patentierten Verfahren herzustellen, war zweifellos der beste Spiegel für Scheinwerfer gefunden. Der Glasparabolspiegel vereinigt in sich

Digitized by Google

alle Vorteile der bis dahin vorhandenen optischen Mittel. Es sei deshalb in der Folge nur mehr von Scheinwerfern mit Glasparabolspiegeln, wie sie von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. hergestellt werden, die Rede und deren Wirkungsweise zunächst näher untersucht.

Befindet sich eine punktförmige Lichtquelle, welcher die gleichmässig ausstrahlende Intensität J zugedacht ist, im Brennpunkte eines vollkommen genauen Parabolspiegels, so werden, Fig. 7, alle auf den Spiegel treffende Strahlen parallel zur Achse zurückgeworfen.

Fig. 7.



In der gezeichneten Parabel wird Punkt B dadurch erhalten, dass man um den Brennpunkt O als Mittelpunkt einen Kreisbogen mit dem Radius $\rho = f + x = AO + AD$ beschreibt, vom Scheitel der zu zeichnenden Parabel $x = AG$ nach rechts aufträgt und in G eine Senkrechte auf AO errichtet, wobei diese Senkrechte in ihrem Schnitte mit dem Kreise DE den Parabelpunkt B ergibt. Lassen wir BED und ACB um die gemeinschaftliche Achse AO sich drehen, so erhalten wir eine Kugel- und eine Paraboloidfläche mit gleichem Oeffnungswinkel BOH. Befindet sich in O, wie oben vorausgesetzt, eine punktförmige Lichtquelle von der Intensität J, so ist der auf die Kugelfläche BDH fallende Lichtstrom proportional der Grösse dieser Fläche ($2\pi\rho h$) und

Digitized by Google

der Intensität der Lichtquelle. Nehmen wir für $h = 2x$ den gleichen Wert $\rho \cdot \left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right)$, so ist der gesamte Lichtstrom $Q = \frac{2J\pi\rho^2}{\rho^2}\left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right)$ oder für $\left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right)$ den gleichen Wert $2\sin^2\frac{\varphi}{4}$ eingesetzt:

$$Q = 4J\pi\sin^2\frac{\varphi}{4}.$$

Das Paraboloid BAH nimmt nun genau den gleichen Lichtstrom auf und würde, immer eine Lichtquelle ohne räumliche Ausdehnung vorausgesetzt, das Licht als vollkommen cylindrisches Strahlenbündel parallel der Achse ins Unendliche werfen, ohne dass der Strahl von seiner ursprünglichen, am Spiegel selbst vorhandenen Intensität das geringste einbüssen würde. In beliebiger Entfernung würde eine Kreisfläche von der Grösse des Spiegels beleuchtet, und von einem in den Lichtstrahl gebrachten Gegenstand würde man in beliebiger Entfernung ein getreues Schattenbild erhalten. Wird die Brennweite kleiner genommen, so kann die gleiche Lichtmenge durch einen Spiegel kleineren Durchmessers aufgenommen werden, der Durchmesser des cylindrischen Lichtstrahles wird kleiner und die Lichtintensität in demselben erhöht. Das bisher Gesagte gilt nur von einem vollkommen genauen Parabolspiegel; kein anderes optisches Mittel besitzt die gleichen Eigenschaften.

Aus sphärischen Ringen zusammengesetzte Spiegel und der Manginspiegel ergeben infolge ihres sphärischen Schliffes, selbst wenn sie mathematisch genau hergestellt werden könnten, immer eine Abweichung von der parallelen Reflexion, erzeugen also statt eines cylindrischen ein konisches Strahlenbündel, welches mit der Entfernung eine Verminderung der Lichtintensität proportional der Vergrösserung des Querschnittes des Lichtbündels zur Folge hat. Mit dem Parabolspiegel hätten wir unter den soeben geschilderten Verhältnissen das erreicht, was man nach dem uns von der Schule her bekannten von einem richtigen Parabolspiegel erwarten muss — die parallele Reflexion von aus dem Brennpunkt kommenden Strahlen. Nach dieser uns von früher geläufigen Vorstellung staunt häufig genug auch der Techniker, wenn er in dem von einem Scheinwerfer mit Parabolspiegel ausgehenden Lichtstrahle durchaus kein cylindrisches Strahlenbündel erblicken kann, sondern einen ausgesprochenen Strahlenkegel feststellen muss.

Selbst der mathematisch genaue Parabolspiegel kann kein cylindrisches Strahlenbündel erzeugen, weil eine auf einen Punkt beschränkte Lichtquelle nicht besteht; sie hätte auch für den Gebrauch keinen

Digitized by Google

Wert. Würde es selbst möglich sein, in 1000 m Entfernung Gegenstände zu erkennen, von denen nur eine Fläche von der Grösse des verwendeten Spiegels, also beispielsweise eine Fläche von 0,9 m Durchmesser beleuchtet ist, so würde man, wenn diese Fläche in einer Sekunde genügend überblickt werden kann, zum Absuchen des ganzen Horizontes schon 1 Stunde 56 Minuten brauchen.

Jede Lichtquelle stellt sich als ein Körper von bestimmter Ausdehnung dar. Befindet sich ein derartig leuchtender Körper mit der Intensität J, welcher zunächst kugelförmig vorausgesetzt sei, im Brennpunkte eines Parabolspiegels, so ist der auf letzteren fallende Lichtstrom Q wie oben ermittelt

$$= 4 J \pi \sin^2 \frac{\varphi}{4}.$$

Die mittlere Intensität J_m der vom Spiegel zurückgeworfenen Strahlen ergibt sich aus

$$J_m = \frac{J}{\rho_m^2},$$

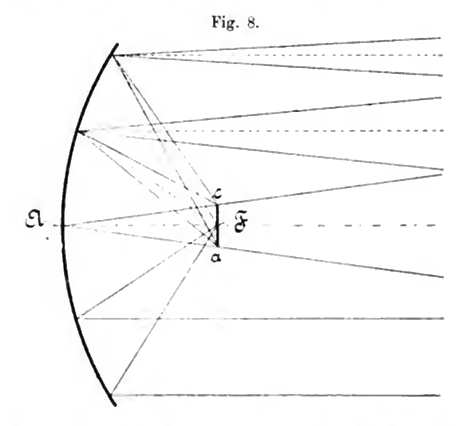
wobei ρ_m den mittleren Fahrstrahl (Radius vector) des Paraboloids bedeutet.

Ist die Lichtquelle nicht eine Kugel, sondern nur ein Kugelabschnitt, hat die Grundfläche des für unsere Rechnung in Frage kommenden Teiles der Kugel den Durchmesser $d = ac$ (Fig. 8), und ist die Brennweite des Spiegels f, so werden die mit den Fahrstrahlen zusammenfallenden Lichtstrahlen parallel der Achse, ein von a aus auf den Scheitel des Spiegels fallender Strahl wird nach c hin zurückgeworfen. Der Winkel, welchen die Verbindungslinien von a und c mit dem Scheitel einschliessen, stellt die Abweichung von der parallelen Reflexion, bedingt durch die räumliche Ausdehnung der Lichtquelle, dar und gibt das Mass für die theoretische Streuung oder den Leuchtwinkel eines Spiegelsystems bei Verwendung einer bestimmten Lichtquelle. Wie der Scheitel, so wird jeder andere Punkt des Spiegels die Lichtstrahlen unter gleichen Winkeln zu den Fahrstrahlen empfangen und zurückwerfen. Diese Winkel nehmen gegen den Rand hin an Grösse ab. Jeder Spiegelpunkt erzeugt einen Lichtkegel, dessen Achse parallel der Spiegelachse liegt. Weil sämtliche Achsen der Lichtkegel innerhalb eines Cylinders liegen, dessen Durchmesser gleich dem Durchmesser des Spiegels ist, die Grundflächen der Kegel aber in bestimmter Entfernung verschiedene Durchmesser erhalten, so muss die durch einen Scheinwerfer hervorgebrachte Beleuchtung am intensivsten in der Mitte ausfallen und von hier nach dem Rande zu abnehmen. Da die einzelnen

Digitized by Google

Lichtstrahlen nur in grösserer Entfernung vom Spiegel als von einem Punkte ausgehend betrachtet werden können, in der Nähe des Spiegels aber sich in unendlicher Zahl kreuzen, so werden hier in das Lichtbündel gebrachte Gegenstände schon in kurzer Entfernung keine Schatten mehr erzeugen, dagegen werden die Schatten um so schärfer, je weiter

Fig. 8.



die vom Lichte getroffenen Gegenstände vom Scheinwerfer selbst abliegen. Der grösste Divergenzwinkel, unter welchem die Lichtstrahlen vom Spiegel aus zurückgeworfen werden, soll im folgenden Leuchtwinkel genannt werden; er ergibt sich nach dem Gesagten aus

$$\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2} = \frac{d}{2f}.$$

In der Entfernung e vom Scheinwerfer, welche als gross vorausgesetzt sei, wird eine Fläche beleuchtet, deren Durchmesser F sich ergibt aus

$$F = \frac{ed}{f}.$$

Diese Fläche wird nun, vollkommene Reflexion beim Spiegel vorausgesetzt, beleuchtet durch den ursprünglichen Lichtstrom

$$4\,J\pi\,\sin^2\frac{\varphi}{4}.$$

Bei vollkommen parallelem Strahlenbündel würde dieser Licht-

Digitized by Google

strom in der gleichen Entfernung sich auf eine Fläche $\frac{D^2 \pi}{4}$ verteilen (D = Durchmesser des Parabolspiegels gesetzt).

Durch Verteilung auf die grössere Fläche muss die Intensität J_e der Beleuchtung im Verhältnis $\frac{D^2}{F^2}$ abnehmen. Würde die Fläche F ohne Zuhilfenahme eines Spiegels durch die Lichtquelle, welche wie bisher frei nach allen Seiten gleichmässig ausstrahlend gedacht ist, beleuchtet, so fiele auf diese Fläche der Lichtstrom

$$Q_1 = 4 J \pi \sin^2 \frac{\alpha}{4}.$$

Das Verhältnis $\frac{\text{Lichtstrom mit Spiegel}}{\text{Lichtstrom ohne Spiegel}}$

$$= \frac{4 J \pi \sin^2 \frac{\varphi}{4}}{4 J \pi \sin^2 \frac{\alpha}{4}} = \frac{\sin^2 \frac{\varphi}{4}}{\sin^2 \frac{\alpha}{4}}$$

gibt uns das Mass für die verstärkende Wirkung, das Verstärkungsvermögen des Spiegels an. In Wirklichkeit gestaltet sich das Verhältnis etwas anders dadurch, dass der auf den Scheitel des Spiegels fallende Lichtstrom zwar über den Leuchtwinkel α zerstreut wird, für alle übrigen Flächenteile aber der Stellung der leuchtenden Oberfläche der Lichtquelle und der Entfernung derselben entsprechend andere Streuungswinkel in Betracht kommen.

In der Praxis können wir mit genügender Annäherung zur Vereinfachung der Rechnungen statt $\sin^2 \frac{\varphi}{4}$ und $\sin^2 \frac{\alpha}{4}$ die Werte D^2 und d^2 (d = Durchmesser der Lichtquelle) setzen, woraus sich $\frac{D^2}{d^2}$ als Verstärkungsvermögen des Spiegels ergibt.

Lichtquellen, wie wir sie bisher vorausgesetzt haben, bestehen nicht. Nach dem heutigen Stande der Beleuchtungstechnik kommt für Scheinwerfer nur das elektrische Bogenlicht in Frage, weil es mit hoher Intensität die grösste Annäherung an eine punktförmige Lichtquelle vereinigt. Die bisher vorausgesetzte Kugelgestalt ist dem Bogenlicht nicht eigen. Als hauptsächlichste Quelle des Lichtes gilt hier der glühende Krater der positiven Kohle, und dieser ist deshalb in den Brennpunkt des Spiegels zu bringen; die negative Kohle sendet verhältnismässig wenig Licht aus und am allerwenigsten der Lichtbogen selbst. Einer gleichmässigen Lichtausstrahlung steht die negative

Digitized by Google

Kohle selbst hindernd im Wege. Dem durch Schattenwirkung derselben entstehenden Verluste suchte man auf verschiedene Weise zu begegnen.

Am meisten bekannt wurden jene Lampen, bei denen man die Kohlen gegen die Senkrechte um 20—30° verdrehte und die negative, in der Regel untere, Kohle dem zu beleuchtenden Gegenstande näherrückte. Hiedurch erreichte man eine einseitig vermehrte Ausstrahlung; doch zeigte sich diese Anordnung nur bei Scheinwerfern mit kleinen Nutzwinkeln brauchbar.

Erreicht der Nutzwinkel einen bestimmten Wert, so zeigt sich die Lampe mit symmetrisch angeordneten Kohlen überlegen. Diese wird naturgemäss zur Horizontallampe, wenn das Licht in wagerechter Richtung auf entfernte Gegenstände zu werfen ist, die Achse des verwendeten Spiegels also wagerecht liegt. Die Ueberlegenheit bei symmetrischer Anordnung der Kohlen darf wohl mit Sicherheit darauf zurückgeführt werden, dass ein Teil des von der negativen Kohle ausgehenden Lichtes vom weissglühenden Krater der positiven Kohle reflektiert wird und damit den von letzterem ausgehenden Lichtstrom verstärkt.

Schuckert hat die Vorzüge der Horizontallampe sofort erkannt und sie von Anfang an für seine Scheinwerfer mit Glasparabolspiegel verwendet. Sautter, Lemonier & Co., später Sautter, Harlé & Co. in Paris, die Verfertiger von Manginspiegeln, hielten nur die vorhin gestreifte Schräglampe für ihre Scheinwerfer geeignet und verteidigten diese auch noch, nachdem im Jahre 1890 M. Burstyn in Pola durch Versuche selbst für den Manginspiegel mit einem Nutzwinkel von 83° die Ueberlegenheit der Horizontallampe nachgewiesen hatte. Erst im Jahre 1894, nachdem der Nutzwinkel des Manginspiegels abermals vergrössert worden war, gingen auch Sautter, Harlé & Co. zur Verwendung der Horizontallampe über, die also heute allein für Scheinwerferzwecke gebraucht wird.

Die bisher für gleichmässig ausstrahlende Lichtquellen entwickelten Formeln lassen sich für Scheinwerfer mit Horizontallampen nur mit grossen Einschränkungen verwenden. Die in Fig. 1 dargestellte Kurve gibt uns Aufschluss über die räumliche Verteilung der Intensität des von einer Horizontallampe ausgehenden Lichtstromes. Fassen wir nur den auf den Parabolspiegel fallenden Teil des Lichtstromes ins Auge, und suchen von diesem auf bekannte Weise die mittlere Intensität J_m, multiplizieren diese mit der Spiegelfläche, so gibt uns das erhaltene Produkt, wenn wir vorläufig von

Digitized by Google

allen Verlusten absehen, das Mass für den vom Spiegel zurückgeworfenen Lichtstrom

$$Q_2 = 4\, J_m \pi \sin^2 \frac{\varphi}{4}.$$

Würde nun das Licht, vom Spiegel gleichmässig verteilt, in einem durch den Spitzenwinkel α gegebenen Strahlenkegel zurückgeworfen, so würde in gegebener Entfernung eine Fläche vom Durchmesser F und der Grösse $4\, e^2 \pi \sin^2 \frac{\alpha}{4}$ mit der Intensität

$$J_e = \frac{4\, J_m \pi \sin^2 \frac{\varphi}{4}}{4\, \pi e^2 \sin^2 \frac{\alpha}{4}} = \frac{J_m \sin^2 \frac{\varphi}{4}}{e^2 \sin^2 \frac{\alpha}{4}}$$

beleuchtet werden. Statt $\sin^2 \frac{\varphi}{4}$ und $e^2 \sin^2 \frac{\alpha}{4}$ können wir einfacher die Werte D^2 und F^2 setzen und erhalten $J_e = \frac{J_m D^2}{F^2}$. Soweit wir gleichmässige Beleuchtung voraussetzen könnten, würden also die früheren Formeln brauchbar sein.

Die Beleuchtung durch den vom Spiegel zurückgeworfenen Lichtstrahl erfolgt nun aber, wie wir schon oben gesehen haben, nicht gleichmässig. Die Helligkeit steigert sich bedeutend gegen die Mitte des Strahles hin und nimmt von hier zum Rande rasch ab.

Wenn man bedenkt, dass der Lichtstrahl dadurch, dass er näher liegende Gegenstände sowohl als auch die in der Atmosphäre schwebenden Dämpfe und Staubteilchen beleuchtet, einen erheblichen Lichtstrom ins Auge des Beobachters sendet, so ist es wohl klar, dass der zu beleuchtende Gegenstand in dem Masse verschleiert wird, als man einen grösseren oder geringeren Teil des Strahles zu durchblicken hat. Man sucht deshalb, wo es zulässig ist, Gegenstände mit demjenigen Rand des Lichtstrahles zu beleuchten, der dem Beobachter zugekehrt ist. In der Regel aber kommen mehrere Beobachter, die sich nicht immer auf einer Seite des Strahles befinden, in Betracht und dann muss der Gegenstand möglichst mit der Mitte des Scheinwerferstrahles getroffen werden. Um nun aber dann ebenso gut zu sehen als mit dem Rande, muss die Helligkeit in der Mitte des Strahles eine grössere sein. Man sieht also, dass die räumliche Verteilung der Helligkeit im Lichtstrahl den Bedürfnissen wohl entsprechen kann, so lange der Unterschied in der Helligkeit nicht gar zu gross ist.

Digitized by Google

Aufgabe des Erbauers von Scheinwerfern bleibt es, hier die richtigen Grenzen zu ziehen. Es würde zu weit führen, alle Möglichkeiten, die ihm hiefür zu Gebote stehen, zu erörtern. Erwähnt sei nur, dass der mathematisch vollkommenste Parabolspiegel die grössten Helligkeitsunterschiede hervorrufen wird. Der Verfertiger von Parabolspiegeln hat es in der Hand, bestimmte Formveränderungen zuzulassen, welche die Unterschiede bis zu einem gewissen Grade ausgleichen. Eine Steigerung der Achsenhelligkeit bis zu 33 % über die mittlere Helligkeit des Strahles hat sich als vorteilhaft und in der Praxis wohl erreichbar herausgestellt.

Mitbestimmend für dieses Verhältnis und bestimmend für das Mass der Helligkeit im Scheinwerferstrahl überhaupt ist das Verstärkungsvermögen, d. h. die richtige Wahl von Nutzwinkel und Leuchtwinkel. Für den Nutzwinkel sind 140° und für den Leuchtwinkel 3° als obere Grenze zu betrachten. An diesen Konstruktionsbedingungen sollte nach Möglichkeit festgehalten werden.

Es werden nun freilich häufig Bedingungen gestellt, die ein Abweichen von dem durch die Theorie vorgezeichneten Wege nötig machen, in manchen Fällen ohne zwingenden Grund, oft nur, um an einem bestehenden Gebrauche festzuhalten. So wird nicht selten verlangt, dass die Stromstärke erhöht wird mit der bestimmten Absicht, damit die Leuchtkraft des Scheinwerfers zu erhöhen. Betrachten wir die früher für die Intensität der Beleuchtung entfernter Gegenstände entwickelte Formel

$$J_e = \frac{J_m \sin^2 \frac{\varphi}{4}}{e^2 \sin^2 \frac{\alpha}{4}}$$

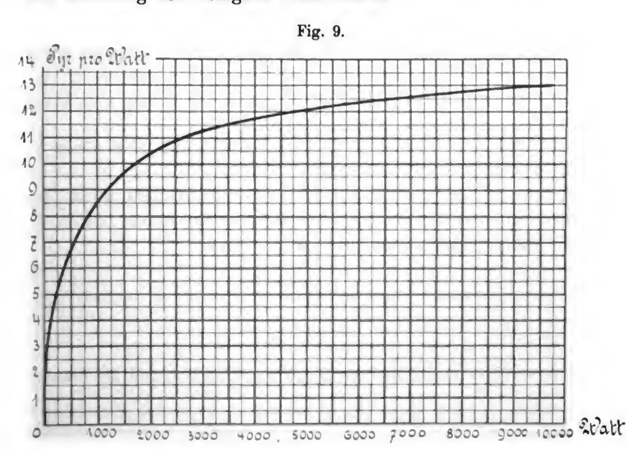
und bedenken, dass sowohl die mittlere Intensität J_m als auch der Ausdruck $\sin^2 \frac{\alpha}{4}$ der Flächengrösse des Kraters proportional sind, dass die Kraterfläche aber im Verhältnis der verbrauchten elektrischen Energie zunimmt, ohne dass sich bei den hier in Betracht kommenden Stromstärken die spezifische Helligkeit nennenswert steigert, so ergibt sich, dass das Verhältnis $\frac{J_m}{\sin^2 \frac{\alpha}{4}}$ bei wachsender Stromstärke annähernd gleichbleibt, dass also mit der Wahl grösserer Stromstärke ein wesentlicher Gewinn an Leuchtkraft nicht erzielt wird. Trägt man die in der Zone grösster Helligkeit gemessene Intensität in Pyr,

Digitized by Google

dividiert durch den Stromverbrauch in Watt, in einer Kurve (Fig. 9) auf, so sieht man, dass bei Lampen geringen Energieverbrauchs eine erhebliche Steigerung der spezifischen Helligkeit des Kraters bei zunehmender Stromstärke vorhanden ist; die Kraterfläche nimmt nicht im gleichen Masse zu, wie der erzeugte Lichtstrom.

Bei höheren Stromstärken wird die Steigerung nur sehr gering. Zieht man dabei in Betracht, dass mit zunehmender Stromstärke die Unregelmässigkeit in der Bildung der Kraterform zunimmt, dass das Kohlenmaterial schlechter wird, so kann man sagen, dass praktisch eine Erhöhung der Helligkeit nicht eintritt.

Fig. 9.



Haben wir bisher auf Grund von theoretischen Betrachtungen die Grundzüge für den Bau des Scheinwerfers festgestellt, so können wir nun untersuchen, was wir mit Scheinwerfern, die nach diesen Grundzügen gebaut werden, zu leisten im Stande sind. Vor allem wird uns die Frage gestellt werden: Wie weit leuchtet der Scheinwerfer? Wie weit sieht man mit dem Scheinwerfer? Diese Fragen sind nicht einfach und nicht kurz zu beantworten.

Ein Scheinwerfer kann auf mehr als 100 km so leuchten, dass die Wirkung seines Lichtstrahles deutlich wahrgenommen wird, erfüllt aber die Aufgabe, entfernte Gegenstände so zu beleuchten, dass sie von einem in der Nähe des Scheinwerfers aufgestellten Beobachter ge-

Digitized by Google

sehen werden, nur, wenn die Entfernungen einige Kilometer nicht überschreiten. Um für letzteren Fall Anhaltspunkte zu gewinnen, müssen wir die Umstände, unter denen das Sehen beleuchteter Gegenstände erfolgt, näher betrachten.

Das Sichtbarwerden solcher Gegenstände hängt in erster Linie ab:

1. Von dem aufgefangenen Lichtstrom (Lichtmenge).

2. Von der Beschaffenheit der beleuchteten Fläche, besonders von der Farbe und der Fähigkeit, empfangene Lichtstrahlen nach dem Orte des Beobachters zurückzuwerfen, kurz gesagt, der Rückstrahlungsfähigkeit.

3. Von der Durchlässigkeit der Atmosphäre.

4. Von der Beschaffenheit der mitbeleuchteten Umgebung des zu beobachtenden Gegenstandes.

Weiter wird die Wirkung noch durch Aufstellung und Handhabung des Scheinwerfers beeinflusst.

Im folgenden sollen diese allgemeinen Gesichtspunkte näher betrachtet werden.

Setzen wir die Leuchtkraft K eines Scheinwerfers gleich dem Verhältnis des von ihm ausgehenden Lichtstromes zu der durch den Leuchtwinkel bedingten räumlichen Ausbreitung

$$K = \frac{4 J_m \sin^2 \frac{\varphi}{4}}{\sin^2 \frac{\alpha}{4}},$$

so wird, weil das Verhältnis von Nutz- und Leuchtwinkel als konstant angenommen werden kann, der Ausdruck $\frac{1}{\sin^2 \frac{\alpha}{4}}$ eine Konstante C, ausserdem können wir für $\sin^2 \frac{\varphi}{4}$ den früher gewählten Ausdruck D^2 setzen. Nennen wir ferner die mittlere Intensität der auf den Spiegel fallenden Strahlen i, so können wir für weitere Betrachtungen $K = iCD^2$ annehmen.

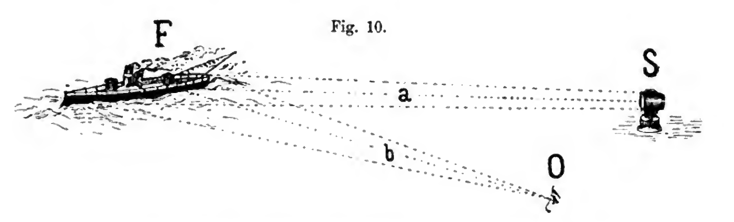
Die Leuchtkraft eines Scheinwerfers steht also im geraden Verhältnis zur Flächengrösse des Spiegels oder einfacher im geraden Verhältnis zum Quadrat des Spiegeldurchmessers und zur Flächenhelligkeit der Lichtquelle, letztere gedacht als das Verhältnis des von der Lichtquelle ausgehenden Lichtstromes zur Flächengrösse der Lichtquelle, also hauptsächlich der Kraterfläche der positiven Kohle. Solange es sich nur um die Helligkeit entfernter, beleuchteter Gegenstände handelt.

Digitized by Google

und nicht um die Grösse der Fläche, die von dem Scheinwerferstrahl in der gegebenen Entfernung getroffen wird, kann beim Vergleich verschieden grosser und nach gleichem Prinzip gebauter Scheinwerfer die Grösse der Kraterfläche unberücksichtigt bleiben; sie tritt erst in Rechnung, wenn die Beleuchtung grösserer Flächen in Betracht kommt, ganz besonders, wenn Streuer verwendet werden sollen. Dagegen muss, wenn es sich um verschieden grosse Spiegel und damit auch um sehr verschiedene Stromstärken handelt, die Flächenhelligkeit des Kraters in Rechnung gezogen werden.

Bedeuten in Fig. 10 F einen mit dem Scheinwerfer S beleuchteten Gegenstand und O den Standpunkt des Beobachters, so möge die Entfernung zwischen S und F Leuchtweite genannt und mit a bezeichnet werden, $F - O = b$ soll die Sichtweite heissen.

Fig. 10.



Da es sich bei Scheinwerferversuchen um Entfernungen handelt, denen gegenüber die Grösse des Spiegeldurchmessers verschwindet, so kann der Scheinwerferstrahl als von einem Punkt ausgehend betrachtet werden.

In einer bestimmten Entfernung e (Fig. 11) wird eine Fläche von der Grösse $F = xy$ mit der Helligkeit h beleuchtet. Nennen wir die Summe aller auf F fallenden Strahlen des Lichtstroms Q, so ist $h = \frac{Q}{F}$ oder $Q = hF$. In der Entfernung e_1 wird der gleiche Lichtstrom Q eine Fläche von der Grösse $F_1 = x_1 y_1$ mit der Helligkeit h_1 beleuchten und es ist $Q = h_1 F_1$. Daraus folgt:

$$h_1 F_1 = h \, . \, F \text{ oder } h_1 : h = F : F_1 = xy : x_1 y_1 \text{*)}.$$

Aus $x_1 : x = e_1 : e$ und $y_1 : y = e_1 : e$ ergibt sich:

$$x_1 y_1 = xy \, . \, \frac{e_1^2}{e^2}.$$

Digitized by Google

Dies in die Gleichung*) eingesetzt, erhält man:

$$h_1 : h = xy : xy \cdot \frac{e_1^2}{e^2}$$

oder

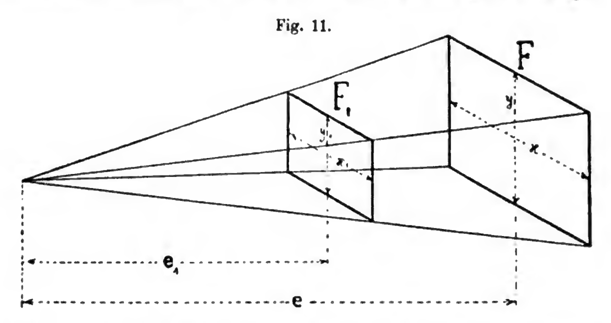
$$h_1 : h = e^2 : e_1^2$$

als Grundgesetz für die Fernwirkung von Lichtquellen, in Worten ausgedrückt:

> Die Beleuchtung entfernter Gegenstände steht im umgekehrten Verhältnis der Quadrate der Abstände von der Lichtquelle, oder die Beleuchtung entfernter Gegenstände nimmt ab im Verhältnis der Quadrate der Entfernung.

Haben wir für eine Scheinwerfergrösse sowohl Leuchtweite als Sichtweite ermittelt, so finden wir deren Wert für andere Spiegel-

Fig. 11.



grössen unter Berücksichtigung des vorher Gesagten durch Rechnung. Der grösseren Verbreitung von Spiegeln von 900 mm Durchmesser entsprechend nehmen wir diese Spiegelgrösse als Massstab und leiten von diesem alle übrigen Werte ab. Um mit demselben bei einer Leuchtweite a eine Sichtweite b zu erlangen, ist für einen gegebenen Gegenstand eine bestimmte Helligkeit erforderlich. Die Helligkeit steht im geraden Verhältnis zur Leuchtkraft ($K = iCD^2$), im umgekehrten zum Quadrat der Entfernung a des Scheinwerfers.

$$h = \frac{iCD^2}{a^2}.$$

Um mit einem anderen Scheinwerfer S_1 den Gegenstand in derselben Sichtweite b gleich gut zu sehen, muss $\frac{i_1 CD_1^2}{a_1^2} = \frac{iCD^2}{a^2}$ sein.

Digitized by Google

Daraus ergibt sich:

$$a_1 = \sqrt{\frac{i_1 D_1^2 a^2}{i D^2}} = a \cdot \frac{D_1}{D} \sqrt{\frac{i_1}{i}}$$

d. h. die mit verschiedenen Scheinwerfergrössen für eine gegebene Sichtweite erreichbaren Leuchtweiten stehen im Verhältnis der Spiegeldurchmesser und der Quadratwurzel aus dem Helligkeitsverhältniss der Lichtquellen. Wird die Sichtweite der Leuchtweite gleich und nennen wir diese Entfernung den Wirkungskreis e, so wird die Helligkeit des vom Gegenstand auf der Netzhaut des Beobachters erzeugten Bildes im geraden Verhältnis zur Helligkeit des Gegenstandes selbst und im umgekehrten Verhältnis des Quadrates der Entfernung stehen,

$$h_1 = \frac{h}{e^2}.$$

Setzen wir für h den früher gefundenen Wert ein, so erhalten wir

$$h_1 = \frac{i C D^2}{e^4}.$$

Wollen wir von dem gleichen Gegenstand bei Beleuchtung desselben mit einem anderen Scheinwerfer S ein gleich helles Bild erhalten, so muss $h_1 = \frac{i_1 C D_1^2}{e_1^4}$ sein, woraus sich ergibt

$$e_1 = \sqrt[4]{\frac{e^4 i_1 D_1^2}{i D^2}} = e \sqrt{\frac{D_1}{D}} \cdot \sqrt[4]{\frac{i_1}{i}}$$

d. h. wenn Sichtweite und Leuchtweite gleich sind, stehen die mit verschiedenen Scheinwerfergrössen zu erreichenden Wirkungskreise im Verhältnis der Quadratwurzeln aus den Spiegeldurchmessern und der vierten Wurzeln aus dem Helligkeitsverhältnis der Lichtquellen.

Haben wir nun für Scheinwerfer von 900 mm Spiegeldurchmesser die Entfernungen, in welchen bestimmte Gegenstände wahrgenommen bezw. erkannt werden können, festgestellt, so können wir die mit anderen Scheinwerfern zu erzielenden Wirkungskreise und Leuchtweiten ohne weiteres berechnen. Zur Erleichterung dieser Aufgabe sind in der beigefügten Scheinwerfertabelle die feststehenden Werte aufgeführt. In den Reihen 12, 13, 18 und 19 sind Leuchtweiten und Wirkungskreise für verschiedene Gegenstände angegeben, wie sie aus der Praxis sich ergeben haben.

Die bisher angeführten Formeln gelten für konzentriertes Licht. Soll mit Hilfe von Streuern das Licht im wagerechten Sinne ausgebreitet werden, so nimmt die Helligkeit des beleuchteten Gegenstandes

Digitized by Google

Scheinwerfertabelle I.

D = Durchmesser des Spiegels in cm	Brennweite in cm	Normale Stromstärke in Amp.	Kraterdurchmesser in mm	α = Leuchtwinkel	$\frac{D}{D_{90}}$	$\sqrt{D}$	$\sqrt{\frac{D}{90}}$	$\frac{i}{i_{90}}$	$\sqrt{\frac{i}{i_{90}}}$	$\sqrt[4]{\frac{i}{i_{90}}}$	a [1])	Wirkungskreis in Metern, in welchem man beobachten kann, ob Artilleriegeschosse zu hoch oder zu tief gehen, in welchem man an Schanzgräben arbeitende Leute deutlich wahrnehmen oder in dem man zur See Torpedoboote entdecken kann: e für konzentriertes Licht	e für Streuungen von 10°	20°	30°	45°	Wirkungskreis in Metern, in welchem man grössere helle Gebäude, Kirchen, Kasernen u. s. w. sehen kann, festgestellt bei Versuchen in Ismid	Nürnberg
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
35	17,5	20	9	2° 56′	0,389	5,916	0,624	0,68	0,825	0,908	860	1530	1000	850	770	690	7000	4300
40	20	30	9,4	2° 42′	0,444	6,325	0,666	0,76	0,872	0,934	1050	1680	1080	910	825	740	7600	4700
45	20	40	10	2° 52′	0,500	6,708	0,707	0.86	0,927	0,963	1250	1830	1200	1010	920	825	8350	5150
60	25	60	12,1	2° 47′	0,666	7,746	0,8165	0,914	0,956	0,978	1710	2150	1400	1180	1060	960	9800	6050
60	28	70	13,5	2° 46′	0,666	7,746	0,8165	0,944	0,972	0,986	1740	2170	1410	1190	1070	970	9900	6100
75	31	80	15,3	2° 50′	0,833	8,66	0,9128	0,966	0,983	0,9915	2200	2430	1590	1340	1200	1090	11 060	6860
90	38	100	18	2° 43′	1.000	9,487	1,0000	1,000	1,000	1,000	2700	2700	1750	1470	1330	1200	12 300	7600
90	42	120	20	2° 44′	1,000	9,487	1,0000	1,018	1,010	1,005	2700	2700	1750	1470	1330	1200	12 300	7600
110	52	150	23	2° 33′	1.222	10,488	1,105	1,066	1,030	1,015	3300	3000	1910	1610	1440	1310	13 600	8400
150	65	150	23	2° 2′	1.666	12,247	1,291	1,066	1,030	1,015	4500	3450	2080	1760	1580	1430	16 000	9850

[1]) Leuchtweite a, wenn dieselbe für Spiegel von 90 cm Durchmesser 2700 m beträgt und die Sichtweite 2700 m erreichen soll; die Zahlen dieser Spalte geben somit an, in welcher Entfernung vom Ziele der Scheinwerfer aufgestellt werden muss, damit der vom Beobachter 2700 m entfernte Gegenstand gesehen werden kann.

Digitized by Google

im Verhältnis des Leuchtwinkels $\alpha = m^0$ des konzentrierten Strahls zum Ausbreitungswinkel $\beta = n^0$ ab; ausserdem kommt dann nicht die Achsenhelligkeit des Scheinwerferstrahls, sondern die mittlere horizontale Helligkeit in Rechnung. Diese beträgt ungefähr 65 % der Achsenhelligkeit.

Der Wirkungskreis e_s bei Streuung ergibt sich aus dem Wirkungskreis e des konzentrierten Strahls aus

$$e_s^4 = \frac{0{,}65\, e^4 m}{n} \quad \text{oder} \quad e_s = e \sqrt[4]{\frac{0{,}65\, m}{n}}.$$

In der Scheinwerfertabelle sind in den Reihen 14, 15, 16 und 17 auch hiefür einige Werte der Wirkungskreise angegeben.

Da die in der Tabelle gegebenen Zahlen sich für dieselben Gegenstände verstehen, die mit einem Scheinwerfer von 900 mm Durchmesser unter denselben Umständen gesehen werden, so sind sie ohne weiteres brauchbar, wo es sich um gleiche Verhältnisse handelt.

Bei Bemessung des Wirkungskreises ist ferner angenommen, dass der Scheinwerfer gut gehandhabt wird, dass der Gegenstand also mit der Zone grösster Helligkeit getroffen wird. Nur unter dieser Annahme ist es zulässig, dass in der Tabelle auch Scheinwerfer mit aussergewöhnlichem Leuchtwinkel nach den gleichen Formeln behandelt werden.

Für weitergehende Rechnungen müssen in erster Linie noch die Flächengrössen der zu beobachtenden Gegenstände, die Rückstrahlungsfähigkeit und die Absorption der Lichtstrahlen in der Atmosphäre in Rechnung gesetzt werden. Der von einem beleuchteten Gegenstand ausgehende Lichtstrom steht im geraden Verhältnis zur Flächengrösse und zur Rückstrahlungsfähigkeit bezw. zum Farbenkoeffizienten desselben, letzteren gedacht als das Verhältnis des vom Gegenstand ausgehenden Lichtstromes zu demjenigen, der erzeugt würde, wenn eine vollkommen weisse Oberfläche vorhanden wäre.

In letzterer Hinsicht hat man beim Scheinwerfer mit den ungünstigsten Verhältnissen zu rechnen. Torpedoboote z. B. werden immer mit solchen Farben gestrichen werden, die am wenigsten Licht zurückwerfen. Als solche sind schwarzgrau, braun und schwarz zu nennen. Am liebsten würde man die dem Scheinwerferlichte zu entziehenden Gegenstände mattschwarz streichen; solche würden sich aber bei Mondschein oder in nicht ganz dunklen Nächten scharf von dem grauschwarz erscheinenden Horizont abheben, weshalb man fast überall der grauschwarzen Farbe den Vorzug gegeben hat.

Digitized by Google

Um die Absorption in der Atmosphäre in Rechnung zu ziehen, müsste die für einen bestimmten Ort in der Entfernung e sich ergebende Helligkeit im Verhältnis $(1 - p)^e$ vermindert werden, wenn p den Betrag der Absorption bezeichnet, welcher beim Durchgang durch 1 km in der Atmosphäre verursacht wird.

Bei Scheinwerferversuchen ist die Grösse der Absorption in der Regel nicht bekannt. Der Vergleich zweier Scheinwerfer ist nur dann möglich, wenn sie gleichzeitig untersucht werden. Wird ein Versuch gleich bei einfallender Nacht, der zweite um Mitternacht angestellt, so können, ja werden in den meisten Fällen die Resultate mit ganz gleichwertigen Apparaten oder mit ein und demselben Scheinwerfer ganz verschiedene werden. Bedenkt man, dass die Absorption in der Atmosphäre zwischen 2 und 50 %, ja noch weit darüber betragen kann, so wird man sich über die Wichtigkeit dieses Faktors ein Bild machen können.

Dass die Sichtweite ein höchst ungenaues Mittel zur Beurteilung der Leistung von Scheinwerfern ist, geht aus den früheren Betrachtungen hervor.

Wir haben beim Vergleich zweier Scheinwerfer die Wirkungskreise e und e_1 gefunden aus

$$e_1 = e \sqrt{\frac{D_1}{D}} \cdot \sqrt[4]{\frac{i_1}{i}}.$$

Nehmen wir einen Scheinwerfer einem zweiten um 36 % überlegen, die Beleuchtungswerte der beiden Scheinwerfer also im Verhältnis 1,36 : 1 stehend an und suchen wir für den ersten Scheinwerfer den Wirkungskreis, wenn derselbe für einen bestimmten Gegenstand bei dem zweiten 1250 m war, so finden wir nur eine Erhöhung derselben um 100 m. Um den Wirkungskreis von 3000 auf 3300 m, also um 10 % zu erhöhen, muss die Leistung des Scheinwerfers schon um rund 50 % höher sein.

Es ist sehr schwierig, Unterschiede von Entfernungen, die 10 % nicht übersteigen, in der Nacht, wo jeder vergleichende Massstab fehlt, festzustellen; ebenso schwierig ist es deshalb, bei Beleuchtung eines entfernten Objektes Helligkeitsunterschiede von selbst 30 % mit dem freien Auge zu beurteilen.

Ueber den Beleuchtungswert eines Scheinwerfers können deshalb nur photometrische Messungen, die freilich sehr oft wiederholt werden müssen, Auskunft geben.

In der zweiten Tabelle wurde versucht, einige Zahlen über die teils photometrisch ermittelten, teils gesuchten Werte der mit ver-

Digitized by Google

Scheinwerfertabelle II.

Spiegeldurchmesser D in mm	Stromstärke in Amp.	Spannung in Volt	Watt	Normalkerzen (Pyr[1]) erhalten durch 1 Watt	Intensität der auf den Spiegel fallenden Lichtstrahlen in NK (Pyr) maximale	mittlere	Mittlere Intensität der vom Spiegel zurückgeworfenen Strahlen in NK (Pyr)	Kraterdurchmesser d	Verstärkungszahl des Spiegels $\frac{D^2}{d^2}$	Intensität des vom Spiegel ausgehenden Lichtstrahls in grösserer Entfernung ohne Rücksicht auf Absorption in der Atmosphäre in NK (Pyr)	Brennweite des Spiegels f in mm	Streuung	Durchm. des Feldes in 1000 m Entfernung in m	Helligkeit in Meterkerzen (Lux) bei einer Absorption von 10,4 % für den Kilometer in 1000 m Entfernung	in 2000 m Entfernung
400	20	43,5	870	4	3 480	2 780	2 500	9,3	1854	4 635 000	180	2° 58′	51	4,57	0,93
	25	44	1100	4,6	5 000	4 000	3 600	9,4	1811	6 490 000	180	2° 59′	52	5,8	1,3
	30	44	1320	4,8	6 300	5 000	4 500	9,5	1773	8 000 000	200	2° 43′	47	7,17	1,6
450	20	43,5	870	4	3 480	2 780	2 500	9,3	2341	5 850 000	200	2° 40′	46	5,24	1,18
	30	44	1320	4,8	6 300	5 000	4 500	9,5	2244	10 600 000	200	2° 43′	48	9,5	2,125
	40	45	1800	5,14	9 250	7 400	6 660	10	2025	13 500 000	200	2° 52′	50	12,5	2,7
600	40	45	1800	5,14	9 250	7 400	6 660	10	3600	24 900 000	250	2° 18′	40	22,4	5
	50	46	2300	5,35	12 300	9 800	8 820	10,9	3030	26 700 000	250	2° 30′	44	23,9	5,35
	60	47	2820	5,55	15 500	12 400	11 150	12,1	2459	27 200 000	250	2° 47′	48	24,3	5,45
750	60	47	2820	5,55	15 500	12 400	11 150	12,1	3840	42 300 000	310	2° 16′	39	37,8	8,5
	75	49	3675	5,8	21 200	17 000	15 300	14,3	2744	42 300 000	310	2° 38′	46	37,8	8,5
	90	51,5	4680	6	28 100	22 500	20 500	16,7	2020	42 300 000	310	3° 6′	54	37,8	8,5
900	60	47	2820	5,55	15 500	12 400	11 150	12,1	5532	61 000 000	310	2° 16′	39	54,7	12,25
	75	49	3675	5,8	21 200	17 000	15 400	14,3	3950	61 000 000	380	2° 8′	38	54,7	12,25
	90	51,5	4680	6	28 100	22 500	20 500	16,7	2900	61 000 000	380	2° 32′	44	54,7	12,25
900	100	53	5300	6,05	32 000	25 700	23 130	17,5	2640	61 000 000	380	2° 43′	47	54,7	12,25
	125	55,5	6660	6,23	41 500	33 200	29 880	20	2030	61 000 000	420	2° 44′	48	54,7	12,25
	150	59	8900	6,45	57 000	45 600	41 040	23	1530	61 000 000	420	3° 8′	55	54,7	12,25
1100	150	60	9000	6,5	58 000	46 400	41 750	23	2287	96 000 000	520	2° 32′	44	86	19,25
1500	150	60	9000	6,5	58 000	46 400	41 750	23	4300	180 000 000	650	2° 2′	36	161	32,25

[1]) Näheres über die photometrischen Grössen (Pyr und Lux) siehe Blondel, Elektrotechnische Zeitschrift 1894, S. 473.

Digitized by Google

schiedenen Scheinwerfern erzielten Intensitäten zusammenzustellen; es kann sich hier selbstverständlich nur um Näherungswerte handeln.

Die Beschaffenheit der mitbeleuchteten Umgebung kann sehr störend auf die Beobachtung einwirken; ein dunkler Gegenstand auf hellem Grunde ist schwer zu erkennen, wenn er nicht durch seine Grösse und Form auffällt; Bodenerhebungen, die scharfe Schlagschatten ins Gelände werfen, verändern das Aussehen einer Gegend so bedeutend, dass selbst geübte Beobachter einer guten Schulung bedürfen, um fremde Gegenstände herauszufinden.

Nachdem wir bisher die Wirkungsweise des Scheinwerfers untersucht haben, gehen wir jetzt zur Verwendung desselben und zu den dabei zu stellenden Bedingungen über. Zuerst mögen für die Armee dienende Scheinwerfer behandelt werden.

Für den Festungskrieg müsste als erste Bedingung gelten, Scheinwerfer so hoch wie möglich über dem zu beleuchtenden Vorfelde aufzustellen. Damit werden allzulange Schlagschatten vermieden, und der Lichtstrahl schneidet erst in grösserer Entfernung ins Gelände ein, hat somit von seiner blendenden Wirkung schon wesentlich eingebüsst.

Im allgemeinen sind zwei Arten von Scheinwerfern in Betracht zu ziehen:

1. Suchlichter, welche auf grosse Entfernungen wirken sollen,
2. Scheinwerfer für die Aufhellung des nahen Geländes zur Beleuchtung von Minensperren oder zur Verhinderung von Torpedoangriffen, in der Folge Sperrlichter genannt. Für Minensperren ist eine Aufstellung der Scheinwerfer nicht zu hoch über der Wasserlinie vorzuziehen, weil dann der beleuchtete Gegenstand auf lange Strecken seines Weges im Lichte bleibt, ohne dass der Scheinwerfer verstellt werden müsste.

Suchlichter kommen im Feld- und Festungskrieg für die Küstenverteidigung und auf Kriegsschiffen zur Verwendung.

Wenn im Feld- und Festungskrieg hohe Aufstellung des Scheinwerfers als Ziel zu erstreben ist, so kann bei der Küstenverteidigung eine Aufstellung nahe der Wasserlinie vorzuziehen sein, wenn die Küstenbatterieen und der Beobachterstand hoch über der Wasserfläche liegen.

Nicht selten wird an ein und denselben Scheinwerfer die Aufgabe gestellt, als Suchlicht und Sperrlicht gleichzeitig zu dienen; man stattet denselben mit Streuern und Fernbewegungseinrichtungen aus, um ihn für alle Fälle benützen zu können. Das Ergebnis ist in der

Digitized by Google

Regel ein Misserfolg; ein häufiges Wechseln des Streuers gegen das Abschlussglas erschwert den Dienst. Um auf Erfolg rechnen zu können, muss die Aufgabe getrennt werden; zur Beleuchtung von Minensperren sind Scheinwerfer zu verwenden, die mit Streuern versehen sind, welche die Sperre in der ganzen Ausdehnung unter Licht setzen. Diese Scheinwerfer sind in der einfachsten Weise ausgeführt und bedürfen, einmal aufgestellt, fast gar keiner Bedienung. Zum Absuchen des Horizontes benützt man unabhängig von den vorigen aufgestellte Suchlichter, die mit elektromotorischer Bewegung ausgestattet und mit dem Beobachter durch mehrlitzige Kabel verbunden sind; ein Vielfachumschalter ermöglicht die Wahl der Stromwege für die verschiedenen Bewegungsarten.

Den mannigfachen Ansprüchen Rechnung tragend, müssen wir noch eine weitere Unterteilung für Scheinwerfer und Zubehör eintreten lassen und unterscheiden in der Folge:

A. Scheinwerfereinrichtungen für Feldgebrauch.
B. Scheinwerfereinrichtungen für Binnenfestungen.
C. Scheinwerfereinrichtungen für Küstenfestungen.
D. Scheinwerfereinrichtungen für Kriegsschiffe.

A. Scheinwerfereinrichtungen für den Feldgebrauch.

Der Wert von Beleuchtungseinrichtungen für den Feldkrieg wird heute von verschiedenen Seiten noch bezweifelt. Die versuchsweise bei Manövern zur Anwendung gebrachten Beleuchtungswagen und Scheinwerfer haben zu ausschlaggebenden Erfolgen nicht geführt; häufig waren Misserfolge zu verzeichnen. Ab und zu auftauchende Gerüchte über gelungene Beleuchtungsversuche bei diesen und jenen Manövern geben aber doch Zeugnis einerseits von der Wichtigkeit der Sache, andererseits von der Schwierigkeit, eine richtige Lösung der Feldbeleuchtungsfrage zu finden.

Die Anforderungen an diese Beleuchtungseinrichtungen dürfen nicht zu hoch gestellt werden; vor allem können nur sehr leichte, d. h. leicht trag- oder fahrbare Gegenstände in Frage kommen. Ein Blick in die beigefügten Tabellen zeigt, dass Scheinwerfer ganz geringer Grösse im Vergleich zu grossen schweren Modellen schon ansehnliche Leistungen ergeben. Apparate mit Glasparabolspiegeln von 60 cm Durchmesser müssen als nicht zu überschreitende Grenze für den Feldgebrauch gelten. Auf letztere wäre nicht die als normal angegebene Stromstärke von 60 Amp. zu verwenden, sondern es müsste die Strom-

Digitized by Google

quelle auf 40 Amp. beschränkt werden. Der Wirkungskreis des Scheinwerfers, Modell G 60, ist bei Aufwand von 40 Amp. praktisch der gleiche, wie bei 60 Amp., die Stromquelle aber, gewöhnlich ein sogenannter Beleuchtungswagen, wird bei geringerer Stromstärke erheblich leichter, d. h. transportfähiger und damit felddiensttauglich. In der Regel dürfte schon ein Scheinwerfer Modell G 45 mit 30 bis 35 Amp. allen billigen Anforderungen genügen.

Fig. 12.



Als Stromquelle wäre ein Beleuchtungswagen für eine Leistung von etwa 2400 Watt genügend. Ob man Wagen mit Dampf oder Benzin- und Petroleummotoren den Vorzug geben soll, kann hier nicht ohne weiteres entschieden werden. Wo man auf die Ausbildung des Personals zur Bedienung des Beleuchtungsparks nicht ganz besondere Sorgfalt legt, wird der Dampfwagen vorzuziehen sein, weil man für denselben leichter sachverständiges Bedienungspersonal findet, als für Benzin- oder Petroleummotoren. Die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. bringt für den Felddienst einerseits einen Dampfwagen mit einer de Laval-Turbine, einer für fahrbare Einrich-



Digitized by Google

tungen ganz vorzüglich geeigneten Dampfmaschine, in Vorschlag, andererseits Wagen mit Petroleum- oder Benzinmotoren ganz speziell für fahrbare Zwecke gebaut.

Scheinwerfer und Kabel müssen in der Regel auf besonderem Transportwagen mitgeführt werden; Fig. 12 gibt das Bild eines solchen Transportwagens. Derselbe führt Messinstrumente und das für den Gebrauch nötige Zubehör an Kohlen etc. mit sich. Wenn das Kabel nicht am Beleuchtungswagen untergebracht werden kann, so findet dasselbe über den Hinterrädern auf der Plattform des Scheinwerfertransportwagens Platz. Nur wenn auf gute Wege gerechnet werden kann, ist es zulässig, Kabel und Scheinwerfer auf dem Beleuchtungswagen selbst mitzuführen.

Es ist wohl anzunehmen, dass in nicht allzuferner Zeit Wagen mit Petroleummotoren allein für Felddienstzwecke in Betracht kommen werden; Benzinmotoren sind heute zwar noch leichter in Betrieb zu halten, aber die Beschaffung von Petroleum an beliebigem Orte macht viel geringere Schwierigkeiten als die von Benzin.

B. Scheinwerfer für Binnenfestungen.

Den jeweiligen Verwendungszwecken entsprechend, können die hieher gehörigen Scheinwerferanlagen dreierlei Ausführungen nötig machen:

1. Maschinenanlagen und Scheinwerfer sind fest aufgestellt,
2. Maschinenanlage ist fest, der Scheinwerfer beweglich,
3. Maschinenanlage und Scheinwerfer sind beweglich.

Für den ersten Fall können für die Maschinenanlage direkt gekuppelte Dampfdynamos oder auch Benzinmotoren, direkt mit der Dynamomaschine gekuppelt, Verwendung finden. Petroleummotoren, die vorläufig nur für geringere Leistungen gebaut werden, kommen nur für kleine Anlagen in Frage.

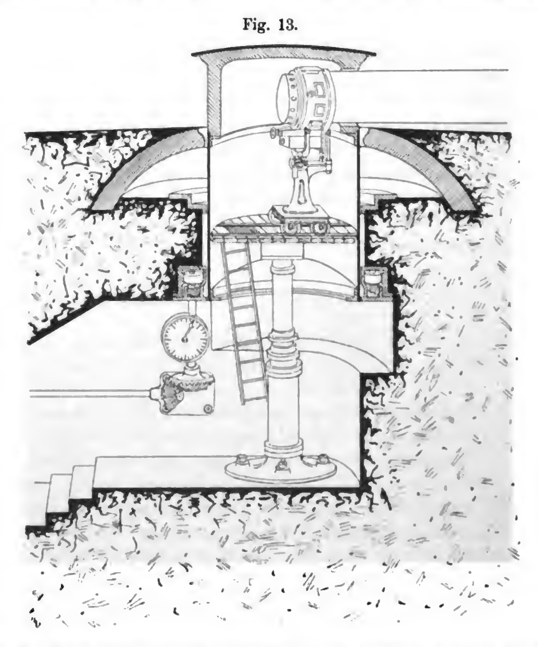
Bei fester Aufstellung des Scheinwerfers ist derselbe in so hohem Grade den feindlichen Geschossen ausgesetzt, dass er eines besonderen Schutzes bedarf. Am wirksamsten erweist sich die Aufstellung in einem drehbaren, gepanzerten Stand, der zum Leuchten gehoben und bei Schussbedrohung versenkt werden kann (Fig. 13). Zur Vermeidung grösserer Leuchtöffnungen, zum Teil aber auch der mit zunehmender Grösse hochansteigenden Kosten wegen, begnügt man sich hier mit der Verwendung von 60 cm Spiegeldurchmesser. Diese Einrichtungen leisten hauptsächlich in vorgeschobenen kleinen Festungs-

Digitized by Google

werken, in Sperrforts, gute Dienste. Für die belgischen Maasbefestigungen sind Scheinwerferanlagen dieser Art von Schuckert & Co. in grosser Anzahl ausgeführt worden.

Kann man sich mit der Leistung von Scheinwerfern dieser Grösse nicht begnügen, so lässt sich unter Beibehaltung des hebbaren Scheinwerferstandes für grössere Scheinwerfer ein Schutz dadurch schaffen,

Fig. 13.



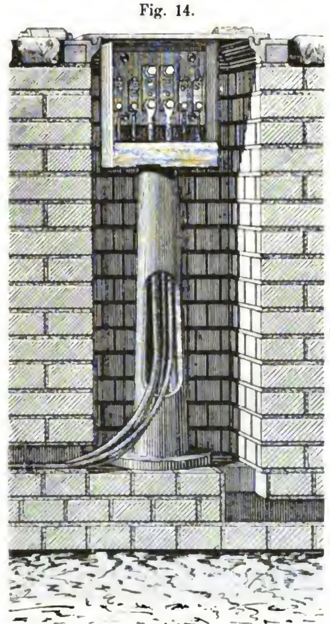
dass der Panzerdeckel nicht mitgehoben und gesenkt, sondern bei versenktem Scheinwerfer über die Schachtöffnung geschoben wird.

Von einem englischen Offizier, Oberst Bucknill, wurde zum Schutze der Scheinwerfer eine Einrichtung vorgeschlagen, welche in der Elektrotechnischen Zeitschrift 1889, S. 110 beschrieben ist. Hinter einer Wallkrone ist der Scheinwerfer an einem Ende eines Wagebalkens um eine horizontale Achse neigbar befestigt; am anderen Ende

Digitized by Google

des Wagebalkens befindet sich, gleichfalls um eine horizontale Achse drehbar, ein ebener Spiegel. Letzterer ragt über die Wallkrone hinaus; der tief gelegene Scheinwerfer sendet sein Strahlenbündel nach dem Planspiegel, und dieser wirft es nach dem Gelände ausserhalb des Festungswerkes. Der Wagebalken ruht mit seiner Mittelunterstützung

Fig. 14.



auf einer Drehvorrichtung, wodurch der Lichtstrahl in horizontalem Sinne beliebig verdreht werden kann.

Einrichtungen dieser Art dürften nur in seltenen Fällen Anwendung finden können, denn 1. erfährt der vom Scheinwerfer ausgehende Lichtstrahl bei der Reflexion am ebenen Spiegel je nach der Güte des letzteren einen Verlust von 10 bis 30 %, 2. bietet die Aufstellung dem Scheinwerfer nur gegen Geschosse mit flacher Flugbahn Schutz; Ge-

Digitized by Google

schosse mit steiler Flugbahn sind dem Scheinwerfer fast so gefährlich, als wenn er in freiem Felde stünde.

Einen sehr wirksamen Schutz gewähren in Felsen gehauene oder bombensicher angelegte Unterstände, die noch durch starke eiserne Thüren geschützt werden können. Der Scheinwerfer steht mit Rollwagen auf Schienen und wird erst im Bedarfsfalle aus dem Unterstande herausgefahren. Beim Leuchten ist die Entfernung des Standpunktes des Scheinwerfers erfahrungsgemäss schwer zu schätzen, und letzterer deshalb nur Zufallstreffern ausgesetzt; besteht ernstere Gefahr für denselben, so fährt man ihn in den schützenden Unterstand zurück. Zur Aufstellung der Scheinwerfer eignen sich nur hochgelegene, das Vorfeld beherrschende Punkte; diese dürfen den Batterien nicht zu nahe liegen, damit die Artillerie durch den Lichtstrahl selbst und die in der Nähe des Scheinwerfers stets vorhandene Beleuchtung der Umgebung nicht gestört wird. Wenn Maschinenanlage und Scheinwerfer an feste Aufstellungsplätze gebunden sind, erfolgt die Stromführung in der Regel durch in der Erde schusssicher verlegte Kabel; wird der Scheinwerfer zum Gebrauch aus Unterständen herausgefahren, so enden die Kabel an passendem Orte in Anschlusssäulen (Fig. 14), die in dem genannten Schacht aufgestellt sind. Durch kurze Kabel wird der Scheinwerfer mit diesen Anschlusssäulen verbunden.

2. Maschinenanlage fest, der Scheinwerfer beweglich.

Auch hier werden für den Scheinwerfer, wenn die Aufstellungsplätze nicht zu sehr von einander entfernt liegen, schusssichere Unterstände geschaffen, aus denen derselbe erst im Bedarfsfalle herausgefahren wird. Wo es angängig ist, werden die verschiedenen Aufstellungspunkte durch Schienengeleise verbunden; ist dies nicht möglich, so muss für den Transport ein Wagen mit federnder Plattform Verwendung finden. Der Wagen kann Zubehör und, wie in Fig. 12 dargestellt, Messinstrumente oder nach Fig. 15 das nötige Kabelmaterial aufnehmen.

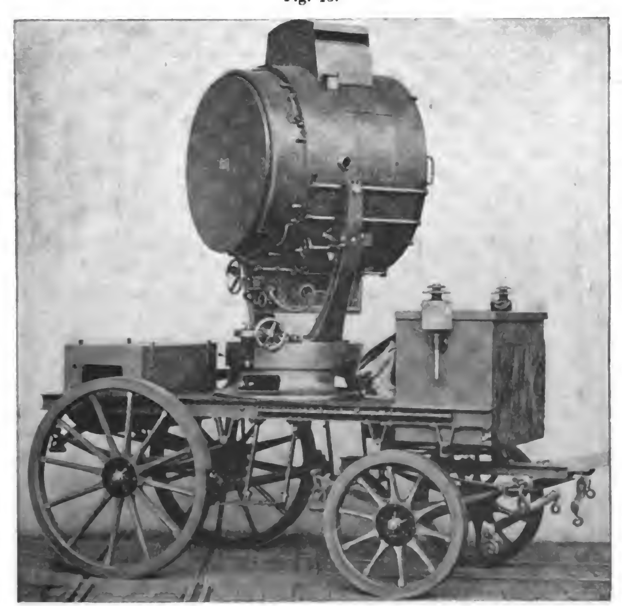
Wo höhere Aufstellungsorte in einer Festung nicht vorhanden sind, sucht man solche dadurch zu schaffen, dass man den Transportwagen mit hochwindbaren Plattformen versieht. Derartige fahrbare Hochwindevorrichtungen können des hohen Gewichtes halber nur bei günstiger Bodenbeschaffenheit Verwendung finden.

Die Kabel können wie im ersten Fall ganz in die Erde verlegt werden; dann ist an jedem Aufstellungsplatz des Scheinwerfers eine Anschlusssäule in gemauertem Schacht vorzusehen, an welche die Scheinwerferlampe durch mehr oder minder lange Kabel angeschlossen wird.

Digitized by Google

Das ganze Leitungsmaterial kann aber auch erst bei Bedarf ausgelegt werden. In diesem Falle sind gut isolierte Gummikabel, mit Eisendraht bewickelt, zu wählen. Zum Auslegen dieser Kabel empfiehlt die Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. besonders konstruierte fahrbare Kabeltrommeln (Fig. 16). Ist die Entfernung zwischen Maschine und Scheinwerfer gross, so sind mehrere Kabel-

Fig. 15.



trommeln hintereinander zu schalten und die Enden der Kabel durch Steckkontakte oder Kuppelungen zu verbinden.

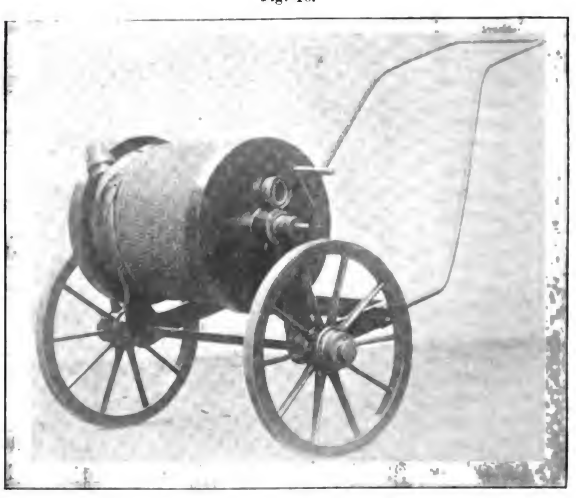
3. Maschinenanlage und Scheinwerfer sind beweglich.

Wenn bestimmte Aufstellungspunkte weder für die Maschinenanlage noch für Scheinwerfer geschaffen werden können, kommen als Stromquellen Beleuchtungswagen in Betracht. Für solche Einrichtungen

Digitized by Google

sind im allgemeinen die gleichen Gesichtspunkte massgebend, welche für den Feldgebrauch gelten. In der Regel aber kommen grössere Scheinwerfer als dort und deshalb auch Beleuchtungswagen mit höherer Leistung in Frage. Wird die Anlage in den Dienst des Verteidigers gestellt, so wird man Dampfmotoren den Vorzug geben, weil Wasser und Brennmaterialien leicht zu beschaffen sind; der Angreifer dagegen wird sich, der leichteren Mitführung des Brennmateriales und des geringen Wasserbedarfs halber besser eines Wagens mit Benzin- oder Petroleummotor bedienen.

Fig. 16.



Als Transportmittel dienen für Scheinwerfer und Kabel die gleichen Einrichtungen, welche unter 2. kurz angedeutet wurden. In Fällen, wo zwar für Beleuchtungswagen und Scheinwerfer bestimmte Aufstellungspunkte gegeben sind, für beide aber ein genügender Schutz nicht hergestellt werden kann, so dass sie bei Schussbedrohung weggefahren werden müssen, kann auch hier mit Vorteil das Kabel unterirdisch verlegt und an bestimmten Stellen an Anschlusssäulen geführt werden; von letzteren werden dann kurze bewegliche Kabel zu Beleuchtungswagen und Scheinwerfer gelegt.

Digitized by Google

Müssen für Beleuchtungswagen und Scheinwerfer die Aufstellungsorte gewechselt werden, so können unterirdisch verlegte Kabel nicht in Betracht gezogen werden. Es ist dann das Leitungsmaterial erst bei Bedarf auszulegen; für die hiezu nötigen Einrichtungen gilt das bereits unter 2. Gesagte.

In Binnenfestungen kommt wie beim Feldgebrauch im allgemeinen der geschlossene (konzentrierte) Lichtstrahl zur Anwendung. Bei Sperrforts, besonders in gebirgigen Gegenden, wo es sich häufig nur um die Beleuchtung bestimmter Flächen des Gesichtsfeldes handelt, die in der Regel in nicht sehr grosser Entfernung liegen, bedient man sich zuweilen mit Vorteil des horizontal verbreiterten Lichtstrahls, des gestreuten Lichts, um die wichtigen Terrainflächen in möglichst grosser Ausdehnung unter Licht zu setzen. Zur Erreichung dieses Zweckes werden unter dem Namen „Streuer“ bekannte Gläser verwendet, die dem jeweiligen Bedürfnis entsprechend für verschiedene Ausbreitungs-(Streuungs-)winkel hergestellt werden.

C. Scheinwerferanlage für Küstenfestungen.

Die früher erwähnte Unterscheidung von Suchlichtern und Sperrlichtern kommt hier ganz besonders zur Geltung. Jede grössere Küstenbatterie, welche zur Verteidigung eines festen Platzes bei einem nächtlichen Angriff bestimmt ist, sollte mindestens *ein* Suchlicht zur Verfügung haben. Der als solches dienende Scheinwerfer sollte seitwärts, ausserhalb der Batterie und möglichst nahe an der Meeresoberfläche aufgestellt werden. Er erhält elektromotorische Bewegung für beide Achsen und kann von einem in der Batterie selbst aufgestellten Beobachter gerichtet werden. Der Scheinwerfer sollte mit Rädern auf Schienen stehen und für den Nichtgebrauch in einen schusssicheren Unterstand gefahren werden.

Neben diesen Suchlichtern müssen für die Beleuchtung der Wasserfläche noch Sperrlichter aufgestellt sein. Die Anzahl dieser Scheinwerfer richtet sich nach der Zahl der Minensperren, nach deren Ausdehnung und nach der Entfernung des Beobachters von der Minensperre. Scheinwerfer, die als Sperrlichter dienen, sind stets mit Streugläsern auszurüsten. Die Grösse der zu wählenden Streuung richtet sich gleichfalls nach den örtlichen Verhältnissen. Ist die Scheinwerfergrösse gegeben, so können für bestimmte Fälle die nötigen Angaben aus den hier beigefügten Scheinwerfertabellen entnommen werden. Im allgemeinen dürften für Küstenfestungen sowohl für Such- als auch für

Digitized by Google

Sperrlichter nur Scheinwerfer von nicht unter 900 mm Spiegeldurchmesser in Frage kommen. Als Suchlichter können in einzelnen Fällen vielleicht grössere Spiegel von 1100 oder 1500 mm Durchmesser gute Dienste thun.

Da Sperrlichter nur eine ganz bestimmte Aufgabe zu erfüllen haben, so können sie betriebsbereit ein für allemal auf einem bestimmten Punkte aufgestellt bleiben. Sie sind dann aber in hohem Grade Beschädigungen durch feindliches Feuer ausgesetzt, und es ist nötig, sie in ausgiebiger Weise zu schützen. Zu diesem Zwecke sind Sperrlichter hinter festen Panzerplatten aufzustellen und nur für zeitweiligen Gebrauch auf Schienen ins Freie zu fahren oder es müssen die Panzerplatten mit Oeffnungen versehen werden, die den Lichtstrahl austreten lassen. Vor diese Oeffnungen kann ein aus kräftigen Stahlstäben bestehendes Gitter derart angebracht werden, dass die Stäbe in die durch die einzelnen Streuerstreifen gebildeten dunklen Räume zu stehen kommen (Fig. 17). Die vom Scheinwerfer kommenden parallelen Strahlen werden durch die einzelnen aus plankonvexen Cylinderlinsen bestehenden Streuerstreifen nach deren Brennlinien hin so gebrochen, dass zwischen den von den Lichtstrahlen ausgefüllten Räumen dunkle Räume entstehen, in welche kräftige Stahlstäbe eingesetzt werden können.

Wenn diese Schutzgitter auch nicht kräftig genug sind, um Vollgeschossen zu widerstehen, gewähren sie doch Sprengstücken gegenüber genügenden Schutz. Für besseren Schutz bei Nichtgebrauch kann vor das Gitter noch eine Panzerplatte geschoben werden.

D. Scheinwerfer für Kriegsschiffe.

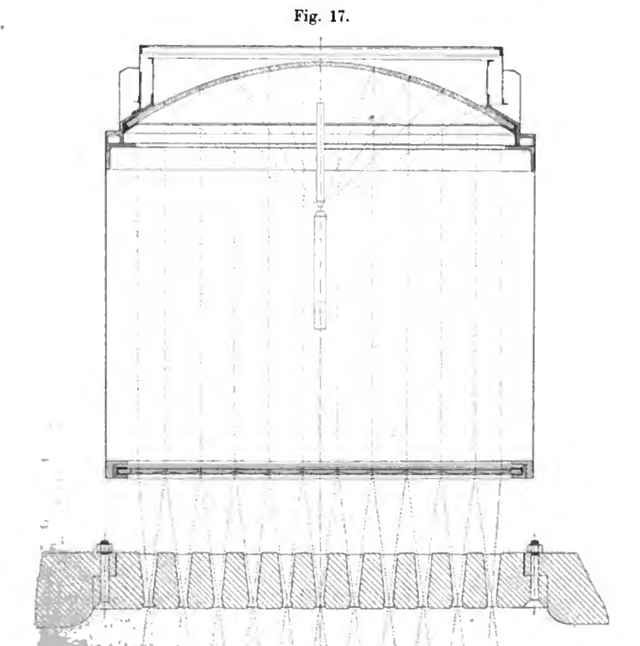
Wenn man in dem Scheinwerfer für Kriegszwecke ein Verteidigungs- bezw. Schutzmittel erkannt hat, so muss dieser auf Kriegsschiffen, wo es sich um den Schutz so wichtigen, kostbaren Materials handelt, eine besonders hervorragende Rolle spielen.

Der Scheinwerfer allein macht es möglich, in dunklen Nächten den Angriff von Torpedobooten abzuwehren. Der blendende Lichtstrahl, vom Verteidiger richtig gehandhabt, erschwert dem Angreifer seine Aufgabe ganz bedeutend; er wirkt demoralisierend auf den Gegner ein. Die im Dunkel der Nacht weitgeöffnete Pupille des Auges lässt bei plötzlich einfallendem Lichtstrahl einen so bedeutenden Lichtstrom auf die Netzhaut gelangen, dass eine Ueberreizung derselben eintritt und dass der Beobachter auch beim Verschwinden des Licht-

Digitized by Google

eindrucks nicht mehr sofort in der Lage ist, die nächste Umgebung zu erkennen. Taucht das Licht dann wieder auf, wenn das Auge kaum Zeit gehabt hat, sich wieder an die Dunkelheit zu gewöhnen, so wirkt das so entnervend auf den dem Lichte Zustrebenden ein, dass nur

Fig. 17.



strenges Pflichtbewusstsein verbunden mit guter Schulung die Vollführung der gestellten Aufgabe möglich machen [1]).

---

[1]) Näheres siehe: Die elektrische Vorfeldbeleuchtung von Karl Exler, Wien 1894, Verlag von Seidel & Sohn, S. 160 u. ff.

Digitized by Google

Der Umstand, dass auf einem Kriegsschiffe die ganze Scheinwerferanlage auf einen verhältnismässig kleinen Raum angewiesen ist, kommt der Aussenbordbeleuchtung nicht zu statten. Um so grössere Sorgfalt muss deshalb auf richtige Ausgestaltung des notwendigen Zubehörs und auf gute Aufstellung und Bedienung verwendet werden.

Eine Aussenbordbeleuchtung kann nur dem Zwecke entsprechen, wenn die zusammenwirkenden Teile und Nebeneinrichtungen, das sind

1. die Dampfmaschine,
2. der Stromerzeuger, d. h. die Dynamomaschine,
3. die Leitungsanlage und die Regulierapparate,
4. die Bedienung der Scheinwerferanlage,
5. der Scheinwerfer selbst,
6. die Aufstellung des Scheinwerfers,
7. die Befehlsübertragung

einzeln in bester Verfassung sich befinden.

Bei Entwurf der Dampfmaschinenanlage werden häufig Bedingungen gestellt, die eine Störung des Betriebes zur Folge haben. Die Maschine soll recht leicht sein und den geringsten Raum einnehmen; auch für die Bedienung kann nur sehr wenig Platz eingeräumt werden. Mit diesen in der Regel gestellten Anforderungen ist schon der Keim zu einem chronischen Leiden der Aussenbordbeleuchtung gelegt. Kleine Dampfmaschinen von hoher Tourenzahl werden bis zur Grenze ihrer Leistung beansprucht, bei der geringsten weiteren Ueberlastung ist eine Verminderung der Umdrehungsgeschwindigkeit, deshalb auch der Spannung an der Dynamomaschine und endlich ein Versagen bezw. Erlöschen des Scheinwerfers die unausbleibliche Folge. Bei Auswahl der Dynamomaschine ist vor allem die für Scheinwerferlampen nötige Betriebsspannung zu berücksichtigen. Ein Zuschlag von 25, besser 30% gibt dann die Betriebsspannung der Dynamomaschine. Diese Zusatzspannung wird in einem sogenannten Beruhigungswiderstand aufgenommen. Beim Fehlen eines solchen Widerstandes oder bei zu geringer Bemessung eines solchen kommen geringe Schwankungen in der Spannung in vollem oder doch hohem Betrage auf die Lampe, während sonst der Widerstand einen erheblichen Teil ausgleicht. Deshalb kann man schon für die geringen Stromstärken in bürgerlichen Anlagen eines Beruhigungswiderstandes nicht entbehren, um so mehr muss man ihn für Scheinwerferanlagen auf Kriegsschiffen in Anwendung bringen. In den meisten Staaten wird auch für derartige Anlagen eine Spannung von 75, meistens 80 Volt zu Grunde gelegt. Ist die Spannung zu niedrig, so gerät die Lampe des Schein-

Digitized by Google

werfers bei den geringsten Verunreinigungen der Kohlenspitzen in Unruhe; Zucken, Blasen und Wandern des Lichtbogens rufen derartiges Flackern des Lichtstrahles hervor, dass der Scheinwerfer im gegebenen Augenblick mehr schadet als nützt. Dies macht sich ganz besonders bei Verwendung höherer Stromstärken bemerkbar. Um einige Sicherheit auf tadelloses Brennen der Scheinwerferlampe, wovon ja der ganze Erfolg abhängt, zu haben, sollte man auf Schiffen über 100 Amp. gar nicht verwenden.

Aus der beigegebenen Tabelle sieht man, dass die Stromstärke beim geschlossenen Strahl gar nicht jene bedeutende Rolle spielt, die man derselben von vielen Seiten beilegt. Man sollte deshalb bei Auswahl der Stromstärke sehr vorsichtig sein und sich mit dem Erreichbaren begnügen, ein Schritt weiter führt ins unberechenbare Feld des Zufalls.

Die Dynamomaschine soll für Scheinwerferbetrieb eine Compoundmaschine sein; ist die Dampfmaschine nicht knapp, so wird man mit Vorteil übercompoundieren, d. h. man wird mit zunehmender Stromstärke auch die Spannung etwas ansteigen lassen. In letzterem Falle hat man die meiste Gewähr dafür, dass auch bei nicht ganz tadellosem Kohlenmaterial ein gutes Brennen erzielt wird.

Wechselstrom ist nach dem heutigen Stand der Technik vollständig ausgeschlossen. Der Doppelkrater, der bei Wechselstromlampen gebildet wird, verhindert das Zustandekommen eines gleichmässigen Lichtstrahles und ergibt auch eine sehr geringe Verwertung der aufgewendeten Energie. Ausserdem ist bei Wechselstrom für horizontale Anordnung der Kohlen ein ruhiges Brennen ungemein schwer zu erzielen.

Ueber die Leitungsanlage kann hier kurz hinweggegangen werden; die in anderen Zweigen der Elektrotechnik gemachten Erfahrungen und dort geltenden Vorschriften können ohne weiteres auch hier Platz greifen. Es sind nur best isolierte und gut geschützte Kabel zu verwenden; der Querschnitt derselben und die Sicherungen müssen grösser als der Betriebsstromstärke entsprechend gewählt werden, weil der Strom beim Einsetzen neuer Kohlen längere Zeit bedeutend über der normalen Stärke bleibt. Nimmt man hierauf keine Rücksicht, so sind Betriebsunterbrechungen wegen vorzeitiger Durchschmelzung der Sicherungen unvermeidlich.

Der schon oben besprochene Beruhigungs- oder Zusatzwiderstand kann fest eingestellt oder regulierbar gemacht werden. Ist er nicht regulierbar, so kann er an beliebiger Stelle des Leitungsweges unter-

Digitized by Google

gebracht sein. Für höhere Stromstärken macht man den Zusatzwiderstand häufig regulierbar; man hat es dann an der Hand, bei wechselnder Spannung den Widerstand entsprechend zu schalten. In der Nähe des Widerstandes muss ein Spannungsmesser angebracht sein, der die für die Bethätigung der Scheinwerferlampe nötige Spannung anzeigt; im Maschinenraum sollte auch ein Strommesser in die Scheinwerferleitung eingeschaltet werden. Regulierbare Zusatzwiderstände müssen entweder in der Maschinenstation oder besser am Scheinwerfer aufgestellt werden. Würde der Widerstand zu gross, so wird er in zwei Teile zerlegt, der grössere nicht regulierbare Teil kann dann wieder an beliebigem Orte aufgestellt werden. Auch der Zusatzwiderstand muss eine vorübergehende Ueberlastung von 20 bis 30 %, ohne sich zu stark zu erhitzen, vertragen.

Eine gut geschulte Bedienungsmannschaft ist die erste Bedingung für die Lebensfähigkeit einer Scheinwerferanlage. Letztere setzt sich aus verwickelten Einrichtungen zusammen, von denen jede ein besonderes Studium erfordert. Solange alles in ordnungsgemässem Zustande sich befindet, wird man auch mit weniger gut geschultem Personal auskommen; sowie aber irgend welche zufällige Beschädigungen entstehen, die nicht offen zu Tage liegen, können durch nicht sachgemässe Untersuchung allein schon die schwersten Fehler begangen werden. Die Ausbildung im Scheinwerferdienst kann nicht sorgfältig genug geübt werden. Das Personal sollte möglichst aus gelernten Mechanikern oder Maschinenschlossern bestehen, aus der Elektrotechnik hervorgehende Mannschaften sind selbstverständlich vorzuziehen.

Regelmässig alle Wochen wiederkehrender Unterricht, mit Leuchtproben verknüpft, ist gar nicht zu umgehen. Steht das Schiff längere Zeit ausser Dienst, so sind vor Indienstnahme folgende Arbeiten vorzunehmen:

1. Die Dampfmaschine ist so weit zu zerlegen, als es die Bordverhältnisse gestatten, jedenfalls müssen alle jene inneren und äusseren Teile, die einer Rostbildung ausgesetzt sind, nachgesehen und sorgfältig gereinigt werden.

2. An den Dynamomaschinen sind schon nach Ausserbetriebsetzung Staub und Schmutz zu entfernen, die Stromabnehmerbürsten sind, wenn nötig, abzuschneiden oder abzufeilen und aufs neue an den Stromabgeber anzupassen. Der Stromabgeber muss, sofern er noch rund ist, sorgfältig abgefeilt und mit Schmirgelpapier abgezogen werden, bis alle verbrannten Stellen verschwinden. Ist derselbe durch Funkenbildung zu stark beschädigt oder unrund geworden, so muss er ab-

Digitized by Google

gedreht werden, zu welchem Zwecke besondere Werkzeuge vorhanden sein müssen. Nach dem Abdrehen muss wieder mit Schmirgelpapier nachgeglättet werden. Vor Wiederaufnahme des Betriebes nach längerem Stehen ist das Abschmirgeln des Stromabgebers zu wiederholen. Im Betriebe ist streng darauf zu achten, dass an den Bürsten keine oder wenigstens nur ganz geringe Funkenbildung auftritt. Wird die Dynamomaschine zeitweise verschieden belastet, so müssen die Bürsten, der jeweiligen Belastung entsprechend, durch Drehen der Bürstenhalterbrücke auf funkenloses Arbeiten eingestellt werden. Im übrigen sind alle Vorschriften für Instandhaltung der Anlage, die von den Lieferanten gegeben werden, aufs genaueste zu beachten.

3. Vor Neuinbetriebsetzung muss auch die Leitung in Bezug auf Isolation vom Schiffskörper untersucht werden. Die Prüfungsarten sind zu bekannt, als dass hier darauf einzugehen nötig wäre. Jeder Isolationsfehler ist sorgfältigst zu beheben.

4. Der Scheinwerfer selbst ist vollständig zu zerlegen, sämtliche Kontaktflächen sind zu reinigen und von Oxyd zu befreien. Sind am Scheinwerfer Elektromotoren, so müssen bei diesen die Stromabgeber rund und metallisch rein gehalten werden. Sind die den Strom zuführenden Schleiffedern zu sehr abgenützt, so werden neue eingesetzt. Sämtliche Gläser sind aufs peinlichste zu reinigen, wobei aber Beschädigungen durch Zerkratzen nicht vorkommen dürfen; das Putzmaterial muss deshalb vollkommen staubfrei gehalten werden. Für die weitere Behandlung der Scheinwerfer sind die von der liefernden Fabrik gegebenen Vorschriften strengstens zu beachten. Es ist hauptsächlich darauf zu sehen, dass die Scheinwerferlampe stets tadellos selbstthätig arbeitet. Nie sollte man sich auf Handregulierung verlassen. In wichtigen Augenblicken hat der Bedienungsmann viel zu sehr auf die Ausführung der gegebenen Befehle zu achten, als dass er sich viel mit der rechtzeitigen und richtigen Nachstellung der Kohlen befassen könnte. Es muss unbedingt von der Mannschaft verlangt werden, dass sie die Wirkungsweise des Reguliermechanismus der Lampe so weit versteht, dass sie bei einem Versagen der Lampe den Fehler finden und beseitigen kann. Dies kann nur durch regelmässige Unterweisung und Schulung des Personals erreicht werden.

Gehen wir nun zum Scheinwerfer selbst über, so ist die erste Frage: Welche Scheinwerfer sollen genommen werden? Zur Entscheidung dieser Frage müssen zuerst die Aufgaben vor Augen geführt werden, deren Lösung der Aussenbordbeleuchtung zufällt. Es sollen erstens grössere feindliche Fahrzeuge in möglichst grosser Entfernung entdeckt

Digitized by Google

werden, zweitens soll beim Angriff von Torpedobooten die Wasserfläche in möglichst grosser horizontaler Ausdehnung auf solche Entfernungen beleuchtet werden, dass Schnellfeuergeschütze den Angriff rechtzeitig abwehren können. Drittens soll der Scheinwerfer zu Befehlsübertragungen auf grosse Entfernungen mittels Signalisierung durch Lichtblitze und viertens bei Landungsversuchen oder beim Durchfahren von engen Wasserstrassen zur Beleuchtung der Umgebung dienen. Hier sind lediglich die zwei ersten Punkte ins Auge zu fassen, die übrigen ergeben sich von selbst durch geeignete Verwendung des Vorhandenen.

Artillerie und Aussenbordbeleuchtung haben in gewissem Sinne ähnliche Aufgaben zu erfüllen. Hier ist es das verräterische Licht, dort das verderbenbringende Geschoss, das feindliche Fahrzeuge erreichen soll. Wenn die Artillerie für den Fern- und Nahkampf sich verschiedener Mittel bedient, so fragt es sich, ob für Aussenbordbeleuchtung in beiden Fällen der gleiche Scheinwerfer gut geeignet ist.

Um mit dem Scheinwerfer auf grosse Entfernungen eine wirksame Beleuchtung zu erreichen, ist es notwendig, dass der Lichtstrahl so dicht und geschlossen als nur möglich zur Verwendung kommt. Der Leuchtwinkel darf nicht zu gross sein, damit die nächste Umgebung nicht mitbeleuchtet wird; kurz, der Scheinwerfer muss alle jene Eigenschaften besitzen, die im Vorausgehenden für das Suchlicht zur Bedingung gemacht wurden. Soll nun derselbe Apparat zur Beleuchtung der nächsten Umgebung bei einem drohenden Torpedoangriff benützt werden, so muss der Lichtstrahl in horizontalem Sinne eine möglichst grosse Ausbreitung erfahren, eine Ausbreitung, die jedoch nur so weit gehen darf, dass bei der dadurch bedingten Verminderung der Lichtstärke die notwendige Sichtweite erhalten bleibt. Zur Erzielung dieser Ausbreitung dienen, wie früher beschrieben, Streuer, die an Stelle des Abschlussglases vor den Scheinwerfer gesetzt werden können und erst im Bedarfsfalle ausgewechselt werden. Dieses Wechseln von Gläsern ist zeitraubend und wird schwierig, wenn man es mit grösseren Scheinwerfern zu thun hat, besonders wenn nur ein geringer Raum für die Bedienung zur Verfügung steht und heftiger Wind die Handhabung erschwert. Hat der Wachthabende, dessen ausschliessliche Aufgabe es im Ernstfalle ist, die nächste Umgebung des Schiffes im Auge zu behalten, bei gestreutem Licht mit Mühe ein Torpedoboot entdeckt, so ist es von der grössten Wichtigkeit, das verdächtige Objekt den Bedienungsmannschaften der Geschütze schnellstens vor Augen zu führen; dies wird am besten erreicht, wenn der Wachthabende so-

Digitized by Google

fort mehr Licht auf den gefundenen Gegenstand werfen kann. Sollte nun erst das Abschlussglas an Stelle des Streuers eingesetzt werden, so würde die kostbarste Zeit vergangen und das Torpedoboot inzwischen so nahe gekommen sein, dass es vielleicht seinen Schuss schon abgeben konnte. Wahrscheinlich aber ist es, dass in den meisten Fällen dann auch das Licht von den Streuern genügt hätte, so dass das Wechseln der Gläser ein unnützes Manöver bleibt. Der Wunsch, nach Belieben den geschlossenen Strahl oder gestreutes Licht zur Verfügung zu haben, führte die Firma Schuckert & Co. zur Konstruktion des sogenannten Doppelstreuers, der zuerst in der deutschen Marine Aufnahme gefunden hat[1]).

Mit dieser Neuerung war die Möglichkeit gegeben, von geschlossenem Lichtstrahl ohne weiteres auf beliebige Streuungswinkel bis zu 45° überzugehen. Der Scheinwerfer war damit sowohl für den Fern- als auch für den Nahgebrauch geeignet.

Solange nur wenige Scheinwerfer an Bord aufgestellt werden können, verdienen die mit Doppelstreuer ausgestatteten vor allen anderen Konstruktionen den Vorzug. Erst wenn die Frage, ob man eine grössere Anzahl Scheinwerfer aufstellen könne, bejahend beantwortet werden

---

[1]) „Die Priorität der Erfindung des Doppelstreuers wird in einigen Veröffentlichungen von der Firma Sautter, Harlé & Co. in Paris beansprucht. Es mag hier der Platz sein, den Thatbestand festzulegen. Gelegentlich der Teilnahme an Versuchen im Kieler Hafen im Jahre 1887 gewann der Verfasser die Ueberzeugung, dass die damals bekannten Scheinwerferkonstruktionen den gestellten Anforderungen gerade in Bezug auf Wechsel der Beleuchtungsart nur mangelhaft entsprechen. Er stellte es sich zur Aufgabe, in diesem Punkte Abhilfe zu schaffen und kam zur Konstruktion des heute in den meisten Kriegsmarinen mustergiltigen Apparates. Die Firma Schuckert & Co. übernahm damals die Ausführung und meldete die Erfindung zum Patent an, wobei der Verfasser, um den Schutzbereich thunlichst gross zu gestalten, auch noch andere Lösungen angegeben und auch auf sie die Patentansprüche ausgedehnt hat. Das deutsche Patentamt wies damals das Gesuch zurück, weil eine von den angegebenen Lösungen schon in einem englischen Patente vom Jahre 1879 enthalten war. Durch Streichen der entsprechenden Ansprüche in dem Patentgesuche wäre es der Firma Schuckert & Co. leicht gewesen, ein vollgiltiges Patent zu erlangen; da es ihr aber damals nur daran lag, die Erfindung der deutschen Marine zugängig zu machen, so verzichtete sie auf weitere Verfolgung der Erfinderrechte und verschuldete damit freilich, dass heute dem Erfinder, der von der englischen Patentschrift erst durch die Entscheidung des deutschen Patentamtes Kenntnis erhielt, die Priorität streitig gemacht wird. Eine Genugthuung wurde dem Verfasser übrigens von seiten der Firma Sautter, Harlé & Co. dadurch, dass diese selbst nicht ihre eigene, durch oben genanntes englisches Patent geschützte Erfindung zur Ausführung bringt, sondern die von ihm angegebene Anordnung."

Digitized by Google

kann, wird man für den Nah- und Fernkampf wie bei der Artillerie verschiedene Konstruktionen benützen. Für den ersten Fall wird man Scheinwerfer anwenden, die nur mit Streuer versehen sind, für den Ferndienst dagegen wird man nie Streuer gebrauchen. Die Einrichtungen werden damit wesentlich vereinfacht, der Dienst wird erleichtert.

Bei Aufstellung der Scheinwerfer wurden früher grosse Fehler gemacht. Die Aufstellung auf der Kommandobrücke in der Nähe des Beobachters ist zu verwerfen, weil letzterer vom Lichtstrahl selbst einen viel zu grossen Lichtstrom im Auge aufnimmt, um nebenher fern gelegene, nur schwach beleuchtete Gegenstände ausfindig zu machen.

Der Kommandant eines Schiffes, das an einer solchen Aufstellung des Scheinwerfers leidet, wird nur zu häufig Misserfolge verzeichnen und deshalb nie ein Freund von Scheinwerfereinrichtungen werden. Bei Auswahl des Aufstellungsortes ist deshalb vor allem zu berücksichtigen, dass der zwischen Scheinwerfer, beleuchtetem Gegenstand und Beobachter gebildete Winkel thunlichst gross wird. Gerade weil auf Schiffen nur verhältnismässig geringe Entfernungen zu erreichen sind, so sollte man mit jedem Meter rechnen und nichts unversucht lassen, den Scheinwerfer möglichst weit vom Beobachter entfernt aufzustellen. Befindet sich eine grössere Anzahl Scheinwerfer an Bord, dann wird man gut thun, die Aufgabe für die Scheinwerfer zu trennen: die für Nahbeleuchtung sind so weit wie möglich unter dem Beobachter nahe an der Wasserlinie, die für Fernbeleuchtung nach Thunlichkeit hoch an den Masten aufzustellen.

Die Befehlsübertragung macht bei Aussenbordanlagen, wie im Felddienst bei der Armee, immer einige Schwierigkeiten. Wenn schon in Friedenszeiten bei Uebungen die prompte Ausführung von Befehlen infolge von Missverständnissen zu wünschen übrig lässt, so müssen die Schwierigkeiten im Ernstfalle, wenn alle Kräfte aufs äusserste angespannt sind, noch viel grösser sein. Der beim Scheinwerfer aufgestellte Bedienungsmann kann nicht sehen, ob er einen Gegenstand gefunden hat oder nicht; soll letzterer verfolgt werden, so ist man ganz darauf angewiesen, dass die Befehle des Beobachters genau befolgt werden. Zu rasches oder zu langsames Drehen lässt häufig den Gegenstand ausser Sicht kommen, und es ist mitunter schwer, oft unmöglich, ihn wieder zu finden. Klingelleitung, Sprachrohr oder Telephon thun zwar wohl gute Dienste, entsprechen aber doch nicht immer den gestellten Anforderungen. Bei Scheinwerfern für Nahbeleuchtung, die mit Streuern versehen sind und ein grösseres Feld beherrschen, ge-

Digitized by Google

nügen die erwähnten Einrichtungen vollständig, weil der beleuchtete Gegenstand auch bei rascherem Drehen im Lichte bleibt. Solche für Fernbeleuchtung sollten aber am liebsten vom Beobachter selbst gerichtet werden können. Auch dazu bietet die Elektrotechnik Mittel. An beiden Drehachsen unter Zwischenlage entsprechender Vorgelege angebrachte Motoren geben die Möglichkeit, den Scheinwerfer von beliebiger Entfernung aus nach Bedarf zu richten. Zweckmässig konstruierte Schaltapparate gestatten die Bewegungen vor- oder rückgängig einzuleiten und dabei auch noch die Geschwindigkeit in bestimmten Grenzen zu verändern. Für rasche Drehungen ist eine Befehlsvermittelung an den Bedienungsmann, wie vorhin erwähnt, nebenbei nicht zu entbehren, da häufig ein Schwenken von einer Bordseite zur anderen notwendig werden wird, und dieses Schwenken mit Hilfe der elektromotorischen Fernbewegung viel zu viel Zeit erfordern würde. Die elektromotorische Bewegung arbeitet tadellos, wenn alles sich in gutem Zustande befindet; die Kontaktflächen der Schleifringe müssen stets rein und die Motoren gut in Ordnung gehalten werden. Nach längerer Ausserbetriebsetzung muss der Scheinwerfer vor Inbetriebnahme so weit zerlegt werden, dass die fraglichen Organe nachgesehen und gereinigt werden können.

Wenn nun alle Elemente, aus denen sich eine Aussenbordbeleuchtung zusammensetzt, im einzelnen in ordnungsgemässem Zustand sich befinden, so darf auf ein richtiges Zusammenarbeiten gerechnet werden.

Zuverlässig arbeitende Dampf- und Dynamomaschinen, eine sorgfältig ausgeführte Leitungsanlage, eine gut unterrichtete und geschulte Bedienungsmannschaft, zweckmässig gebaute, möglichst einfach zu bedienende Scheinwerfer, welche in gut ausgewählter Stellung sich befinden, eine sichere Befehlsübertragung sind die einzigen Mittel, einer Aussenbordbeleuchtung den Erfolg zu sichern.

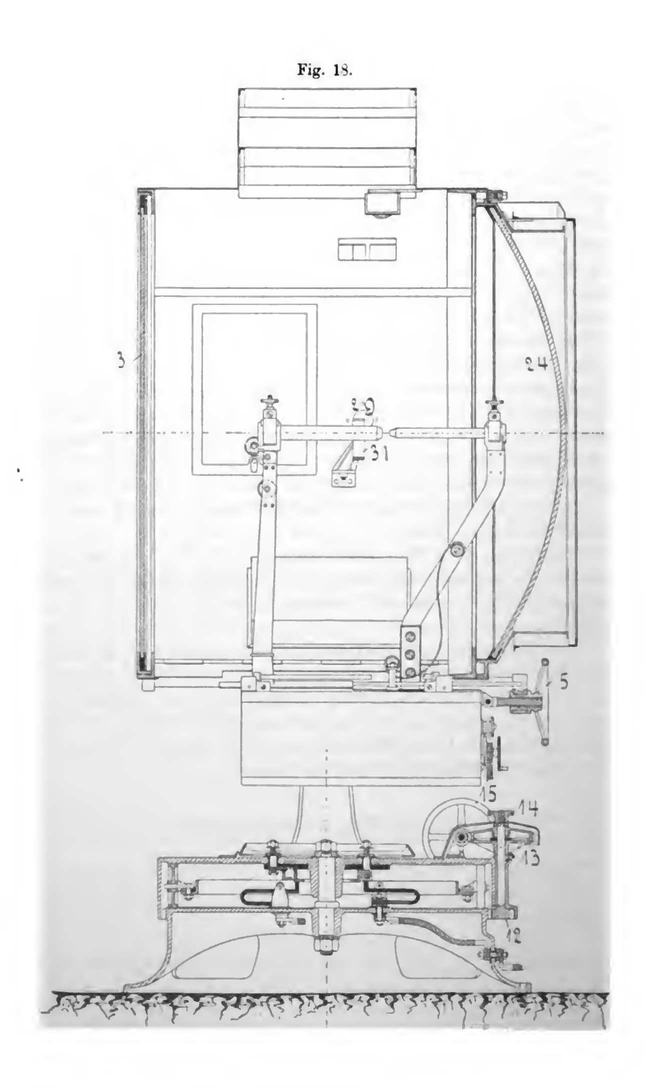
Beschreibung von Scheinwerfern.

Nachdem wir uns mit Theorie und Verwendungsweise von Scheinwerfern vertraut gemacht haben, möge nun noch die Beschreibung der gangbarsten Modelle folgen.

Zuerst soll der einfachste Scheinwerfer, welcher für Festungs- und Felddienst verwendet wird, eingehender behandelt werden.

Digitized by Google

Fig. 18.



Digitized by Google

Scheinwerfer G. 90 mit Nebenschlusslampe.

Ein cylindrisches Gehäuse (Fig. 18 und 18a) aus Eisenblech ist an beiden Enden mit kräftigen Winkeleisen versteift, von denen der hintere Ring zur Aufnahme des Parabolspiegels 24, der vordere zum Anbringen einer aus schmalen ebenen Glasstreifen bestehenden Abschlussthüre 3 dient. Im unteren Teile des Gehäuses ist eine parallel zur Achse der Gehäusetrommel verlaufende Oeffnung freigelassen, welche dem Körper der Horizontallampe, die sich in Längsführungen verschieben lässt, Platz gibt. Um bei brennender Lampe eine übermässige Erhitzung des Glasparabolspiegels sowohl, als auch des Scheinwerfergehäuses überhaupt zu verhindern, sind im Gehäuse neben der Lampe Lüftungsöffnungen angebracht, die frische Luft zuströmen lassen, während die erhitzte Luft durch den oben auf das Gehäuse gesetzten Kamin entweicht. Der Kamin und die Lüftungsöffnungen sind derartig mit Querwänden durchzogen, dass sowohl atmosphärische Niederschläge abgehalten sind, ins Innere des Gehäuses einzudringen, als auch andererseits dem diffusen Licht der Weg nach aussen verlegt ist.

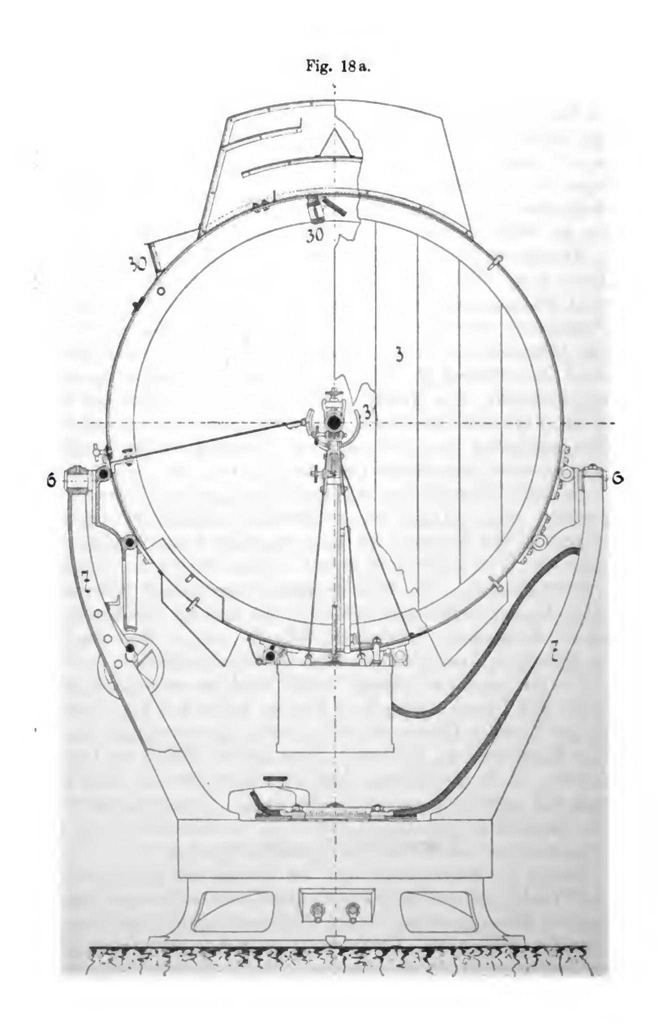
Seitlich sind am Gehäuse in dessen Schwerlinie zwei Drehzapfen 6 angeordnet, die, in Lager von gabelförmigen Ständern 7 eingelegt, eine Drehung des Gehäuses um eine wagrechte Achse ermöglichen, dasselbe also in senkrechtem Sinne auf beliebige Punkte des Vorfeldes zu richten gestatten. Um diese Bewegung langsam und sicher einleiten zu können, bedient man sich einer mit Handrad versehenen, an einem der Seitenständer 7 gelagerten Schnecke, die in einen am Gehäuse befestigten Abschnitt eines Schneckenrades eingreift.

Um ins Innere des Gehäuses behufs Reinigens des Spiegels oder Einsetzen von Kohlen gelangen zu können, befinden sich auf beiden Seiten des Gehäuses Thüren, die entweder um Scharniere aufgeschlagen oder in Falzen zur Seite geschoben werden können. Neben den Thüren erleichtern mit dunklen Gläsern abgedeckte Schaulöcher 29 die Beobachtung des Lichtbogens der brennenden Lampe. Ausserdem zeigt ein kleiner optischer Projektionsapparat 30 oben am Kamin die Form des Lichtbogens bezw. der Kohlenspitzen von oben gesehen.

Mittels der Seitenständer ruht das Gehäuse auf einem runden eisernen Tische, der sich unter Zwischenlage eines Rollen- oder Kugelkranzes auf einem gleichfalls runden Untersatze, geführt durch einen Mittelzapfen, leicht dreht. Am Untersatz ist ein Zahnkranz angebracht, in welchen ein am Drehtisch gelagertes Ritzel 12 eingreift, das mittels Tellerkupplung 13 mit einem Schneckenvorgelege zu verbinden ist.

Digitized by Google

Fig. 18a.



Digitized by Google

Wird die Kupplung durch Anziehen der geränderten Scheibe 14 hergestellt, so kann durch Drehen des Handrades 15 Einstellung der Bewegung des Gehäuses in horizontalem Sinne bewirkt werden; ist die Kupplung gelöst, so kann das Gehäuse frei um seine senkrechte Achse gedreht werden. Für diese Bewegung sowohl als die oben beschriebene Drehung um eine wagrechte Achse sind die jeweiligen Einstellungen an Kreisteilungen abzulesen.

Die Zuleitung des Stromes geschieht durch am Untersatz angebrachte Klemmen; von hier führen Kabel zu isolirten Schleiffedern, welche den Strom auf Schleifringe übertragen, die isoliert am Drehtische aufgeschraubt sind, und von diesen Ringen leiten biegsame Kabel den Strom zu den Klemmen der Lampe. Der Glasparabolspiegel 24, in einer gusseisernen Fassung unter Beilage weichen Materials sorgfältig gebettet, ist mittels Stiftschrauben und Muttern an dem Gehäusering befestigt; das überragende Gehäuseblech verhindert das Eindringen von Wasser an der Stossfuge. Der Spiegel selbst wird durch ein eigenes, gut ventiliertes Gehäuse, aus sich mehrfach überdeckenden Wänden bestehend, vor Witterungseinflüssen geschützt.

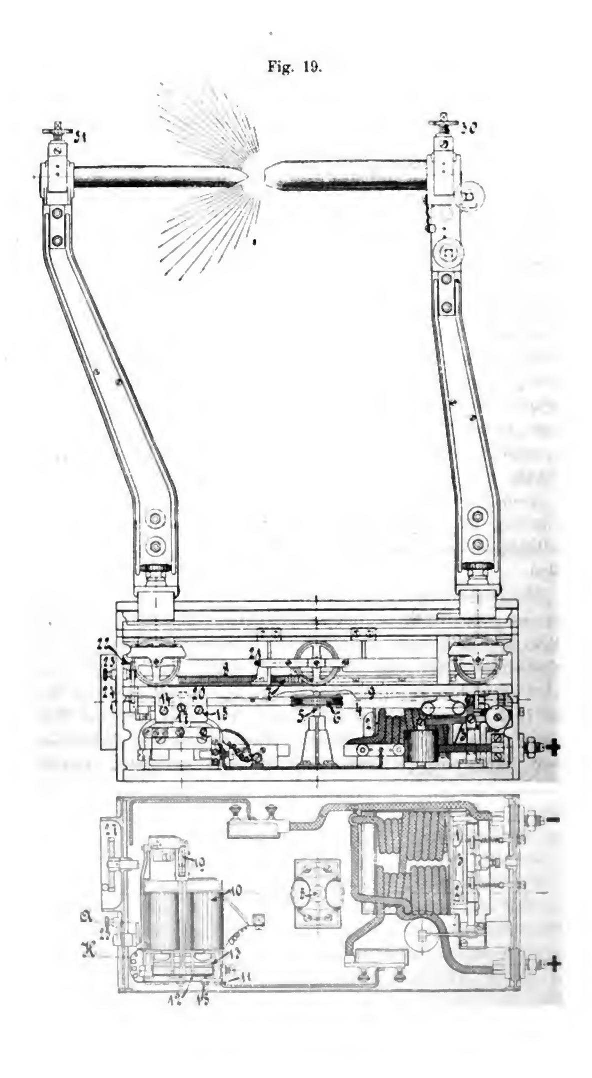
Lampe. Die Lampe, in Fig. 19 in Seitenansicht und Grundriss und in Fig. 20 in Querschnitt und Rückansicht dargestellt, ist für selbstthätigen Betrieb gebaut; sie kann aber auch von Hand betrieben werden.

Die Einrichtung für den selbstthätigen Betrieb besteht im wesentlichen aus zwei Elektromagnetsystemen, von denen das eine beim Einschalten den Lichtbogen herstellt und deshalb Bogenbilder heisst, während das andere den stetigen Nachschub der Kohlen bewirkt und Nachschubmagnet genannt wird. Die Wicklungen des Bogenbilders 1, 2 liegen im Hauptstrom. Vor den Polschuhen des Elektromagneten schwingt ein zwischen Spitzen gelagerter Eisenanker 3, welcher durch zwei an dem Lampengehäuse befestigte, verstellbare Spiralfedern von den Polschuhen weggezogen wird. Ein gabelförmiger Fortsatz des Ankers umgreift eine Schneckenwelle 4 so, dass diese die Ankerbewegung mitmachen muss.

Auf der vertikalen Achse 5 sind befestigt ein Schneckenrad 6 und ein Zahnrad 7; letzteres greift in die beiden Zahnstangen 8 und 9 ein, welche an leicht beweglichen Wagen befestigt sind. An geeigneten Ansätzen dieser letzteren sind die zur Spiegelachse aufragenden Kohlenhalterarme isoliert befestigt. Der Strom wird durch leicht biegsame Kabel direkt auf diese Arme übertragen und so den Kohlen zugeführt.

Digitized by Google

Fig. 19.



Digitized by Google

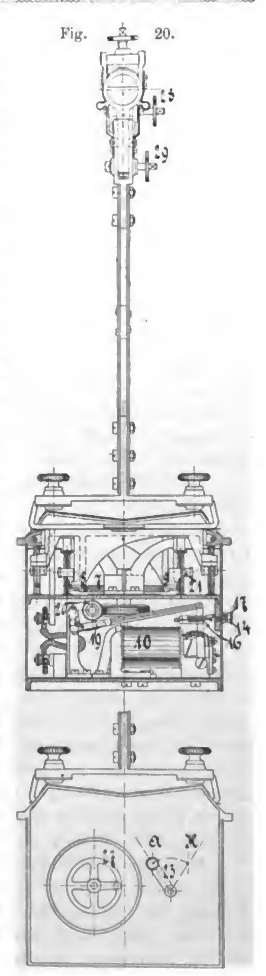


Fig. 20.

Der Winkel des Nachschubmagneten 10, an welchem der Anker zwischen Spitzen drehbar gelagert ist, trägt einerseits eine isolierte Kontaktschraube 11, andererseits den mit Kontaktfeder 12 ausgerüsteten Anker 13, welcher mittels zweier Schrauben 14 und 15 und verstellbarer Spiralfedern 16 gegen den Anschlag 17 gezogen wird, womit sich gleichzeitig die Kontaktfeder 12 gegen den Kontaktstift 18 anlegt. Kontaktfeder und Stift liegen samt der Magnetwickelung im Nebenschluss zu den Kohlen. Dieser Nebenschluss wird unterbrochen, sobald der Anker 13 vom Elektromagneten 10 bis zu einer gewissen Grenze angezogen, und wiederhergestellt, wenn der Anker durch die Spiralfedern 16 abgehoben wird. Am Anker ist ein Sperrkegel 19 befestigt, welcher beim Anzug über ein auf der Schneckenwelle 4 sitzendes Sperrad 20 weggleitet, beim Rückgang dagegen dieses Sperrad mitnimmt und so eine Drehung der Schnecke 4 bewirkt. Diese Drehung wird durch Vermittelung des Schneckenrades 6 auf das Zahnrad 7 übertragen und damit eine entsprechende Annäherung der Kohlen verursacht.

Berühren sich beim Schliessen des Stromes die Kohlen nicht, so tritt der Nachschubmagnet in Thätigkeit, dessen Anker 13 durch das stetige Oeffnen und Schliessen des Stromes in rasches Schwingen versetzt wird, wodurch Sperrrad 20, Schnecke 4 und Zahnrad 7 gedreht und damit die Kohlen zusammengeführt werden. Kommen dieselben nun zur Berührung, so wird der Strom im Nachschubmagnet 10 nicht mehr unter-

brochen, der Hauptmagnet, Bogenbilder 1 und 2, dagegen kräftig erregt; er zieht infolgedessen seinen Anker an und verschiebt Schneckenwelle mit Schneckenrad und Zahnrad so, dass die Kohlen sich voneinander entfernen und der Lichtbogen gebildet wird.

Schreitet der Abbrand der Kohlen weiter fort, so erlangt der Nachschubmagnet infolge der wachsenden Spannung eine solche Kraft, dass er mit Ueberwindung der Spiralfedern 16 seinen Anker anzieht, bis der Selbstunterbrecher den eigenen Stromkreis unterbricht, worauf der Anker zurückschnellt und mittels des Sperrkegels 19 das Sperrrad 20, also auch das Schneckenrad mit Zahnrad so bewegt, dass die Kohlen einander genähert werden. Die jedesmalige Annäherung ist zufolge der Schneckenübertragung sehr gering und erfolgt in so kleinen Zeiträumen, dass der Nachschub stetig und unmerklich erfolgt.

Sind die Kohlen bis zu einem bestimmten Masse abgebrannt, die Zahnstangen also in ihren Endstellungen angekommen, so wird durch einen an der positiven Zahnstange 9 befindlichen Stift 21 der Strom des Nachschubmagneten 10 durch Abheben einer Feder unterbrochen; der Magnet 10 stellt dann seine Thätigkeit ein und der Lichtbogen erlischt nach einiger Zeit.

Um den Nachschub der Kohlen von Hand vorzunehmen, wird der Hebel 23 an der Rückwand der Lampe von A auf H gestellt, wodurch der Stromkreis des Nachschubmagneten unterbrochen wird, indem der die Verbindung herstellende Kontaktklotz 24 von den beiden Federn weggezogen wird. Durch Drehen des Handrädchens 27 kann dann die Einstellung der Kohlen von Hand bethätigt werden. S. auch Fig. 21 Gesamtansicht der geöffneten Lampe.

Das Einstellen des leuchtenden Kraters in den Brennpunkt des Spiegels erfolgt durch Drehung eines Handrades 5, welches als Mutter ausgebildet eine an der Lampe angebrachte Schraubenspindel bewegt. Nach einmaliger richtiger Einstellung wird eine am erwähnten Projektionsapparat 30 angebrachte Marke mit der leuchtenden Fläche des Kraters zur Deckung gebracht, worauf in der Folge bei ungleichmässigem Abbrand der Kohlen oder ungleichen Kohlenlängen nur auf Bestehenbleiben dieser Deckung von Krater und Marke durch rechtzeitiges Verschieben der Lampe zu achten ist.

Wenn man horizontal angeordnete Kohlen in der Scheinwerferlampe benützt, so wird der leicht bewegliche Lichtbogen durch die Wirkung der Lüftungsöffnungen nach oben gezogen, was in kurzer Zeit einen schräg nach oben brennenden Krater und damit eine ungünstige Ausnützung des Parabolspiegels, der in der unteren Hälfte

Digitized by Google

nur wenig zur Wirkung käme, zur Folge hätte. Um diese ungünstige Wirkung aufzuheben, wurde von der Firma Schuckert zuerst die negative Kohle um einen gewissen Betrag tiefer gesetzt, vom Jahre 1888 ab wird um die positive Kohle herum dicht hinter der Kraterfläche ein oben offener Eisenring 31 angeordnet, welcher, durch den die

Fig. 21.



Kohlen durchfliessenden Strom magnetisiert, über dem Lichtbogen ein magnetisches Feld erzeugt, das bei richtiger Wahl der Ausmessungen den Lichtbogen so viel nach abwärts drückt, als er durch Wärmewirkung nach aufwärts zu ziehen bestrebt ist. Diese Einrichtung wird heute von allen Konstrukteuren, welche die Horizontallampe für Scheinwerfer angenommen haben, benützt.

Digitized by Google

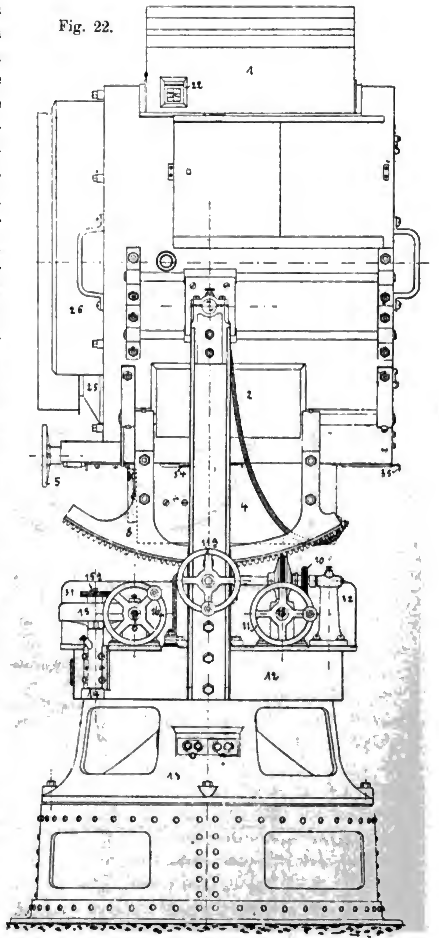
Elektromotorische Fernbewegung der Scheinwerfer.

Im Vorausgehenden wurde an verschiedenen Stellen besonders bei den Suchlichtern von elektromotorischer Bewegung gesprochen. Die Einrichtung, die es ermöglicht, den Lichtstrahl von beliebigem Standpunkte aus auf irgendwie gelegene Punkte zu richten, kann man an jedem Scheinwerfer anbringen, es soll deshalb der soeben behandelte Scheinwerfer weiter ausgebaut und nachfolgend eine kurze Beschreibung des ergänzenden Apparates gegeben werden.

An dem Drehtische des Scheinwerfers sind zwei kleine Elektromotoren 31 und 32, Fig. 22 und 23 aufgesetzt; der Anker des einen ist ohne weiteres auf die die Bewegung im horizontalen Sinne bethätigende Schneckenspindel angebracht, während die Ankerwelle des zweiten Elektromotors unter Zwischenschaltung von Vorgelegen auf die Vorrichtung zum Bewegen des Scheinwerfers in vertikalem Sinne einwirkt. Die Elektromotoren erhalten ihren Betriebsstrom von derselben Stromquelle, die auch die Scheinwerferlampe speist. Um der Anforderung, die Bewegungen des Gehäuses innerhalb ziemlich weiter Grenzen mit beliebiger Geschwindigkeit auszuführen, gerecht zu werden, schaltet man vor die Feldmagnete und vor die Anker Widerstände, die von dem in beliebiger Entfernung befindlichen Schaltapparat geregelt werden können. Zur Erzielung grösserer Geschwindigkeit wird der vor die Feldmagnete geschaltete Widerstand vergrössert unter gleichzeitiger Verringerung des Widerstandes vor dem Anker. Soll der Motor langsam laufen, so wird vor den Anker mehr Widerstand geschaltet, vor die Feldmagnete weniger.

Die Regelungsvorrichtung, welche zugleich die Umschaltung für vor- oder rückgängige Bewegung der Elektromotoren enthält, ist in Fig. 24 schematisch dargestellt. Auf einer isolierenden Platte sind drei konzentrische Metallringe befestigt, von denen der äussere in vier Quadranten I, II, III, IV geteilt ist. Dieser letztere sowie auch die inneren Ringe b und c stehen mit den sechs Anschlussklemmen Rh, Rv und M des Umschalters in Verbindung. Zwischen den Ringen liegen zwei Reihen Kontaktknöpfe, die in geeigneter Weise sowohl untereinander als auch mit den Klemmen des unten liegenden Regulierwiderstandes verbunden sind. Auf den Ringen sowohl als auf den konzentrischen Knopfreihen schleifen vier an einem Drehzapfen gemeinschaftlich und isoliert befestigte Federn a, i, d und k, welche die jeweilig nötigen Verbindungen herstellen. Das Ganze ist in einem Metallgehäuse wasserdicht eingeschlossen, durch dessen Deckel der hohle

Digitized by Google

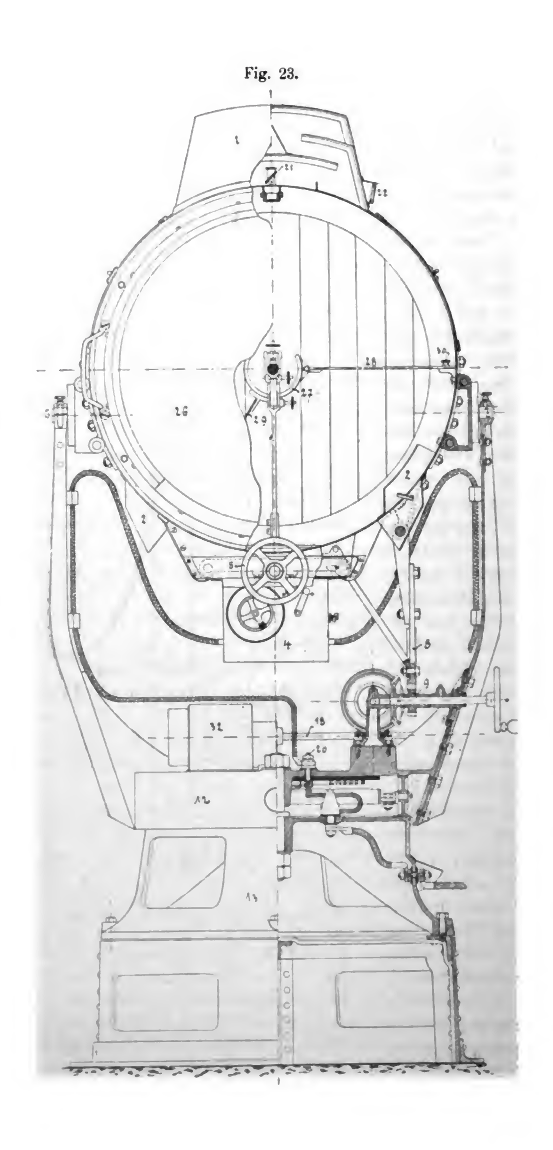

Fig. 22.

Drehzapfen nach aussen geht und dort einen kastenartigen Hebel trägt, in dem sich eine Bleisicherung f und die beiden Unterbrecherfedern g befinden. Letztere sind mit den Schleiffedern d und i durch Drähte verbunden. Der Hebel hat an seinem Ende einen Griff, der durch eine Feder nach oben gedrückt wird, wodurch die Verbindung zwischen den beiden Federn g aufgehoben ist. Wird dagegen der Griff niedergedrückt, so wird zwischen die Federn g ein Metallstück eingeschoben und dadurch je nach der Stellung des Hebels der Stromkreis des einen oder des anderen Motors geschlossen, d. h. die Armatur desselben in Drehung versetzt.

Auf dem Gehäuse sind die Aufschriften „Rechts", „Auf", „Links", „Ab" angebracht; diese entsprechen der Einstellung des Schalthebels auf die Mitte der Quadranten I, II, III, IV. Wird in dieser Stellung der Griff niedergedrückt, so be-

Digitized by Google

Fig. 23.



Digitized by Google

wegt sich das Gehäuse bezw. der von demselben ausgehende Lichtstrahl in entsprechender Richtung mit seiner grössten Geschwindigkeit. Je mehr man den Hebel aus diesen Hauptstellungen herausdreht, um so langsamer erfolgt die Bewegung des Lichtstrahles.

In Fig. 24 gibt die Stellung des Schalthebels die schnellste Drehung nach „Links", also entgegengesetzt der Drehrichtung des Uhrzeigers an. Der Stromweg ist dabei der folgende: Von der +Klemme führt eine Verbindung zur ersten Klemme des Widerstandsrahmens und zu den gleichbezeichneten Kontaktknöpfen der inneren Kontaktreihe, von hier findet der Strom seinen Weg über die Kontaktplatte d, die Schmelzsicherung f, bei niedergedrücktem Griff über die Federn gg durch den Verbindungsdraht h zur Kontaktplatte i, von hier durch den Metallquadranten III zu den Klemmen Rh Rh des Ankers des Elektromotors für die horizontale Bewegung des Scheinwerfers. Von hier führt eine Verbindung zum Quadranten I und von da durch Kontaktplatte K und den zweiten Kontaktring zurück zur —Klemme der Stromquelle. Bei diesem Stromwege wurde zwar die +Klemme des Widerstandes berührt, es wurde aber keiner der Vorschaltwiderstände benützt, der Anker des Elektromotors erhält also die volle Betriebsspannung. Von der +Klemme des Widerstandes aus ist aber dem Strom noch ein weiterer Weg geboten, und zwar über die sämtlichen Widerstände 1, 2, 3, 4 und 5 durch eine Drahtverbindung zum gleichschraffierten Kontaktknopf der äusseren Knopfreihe über Kontaktplatte a, den inneren Schleifring b zu den Klemmen der parallel geschalteten Feldmagnete MM, von hier zurück durch den äusseren Schleifring c zur —Klemme der Stromquelle. Der Stromkreis für die Feldmagnete enthält also den ganzen Widerstand, das Magnetfeld arbeitet mit geringster Erregung entsprechend dem oben Gesagten.

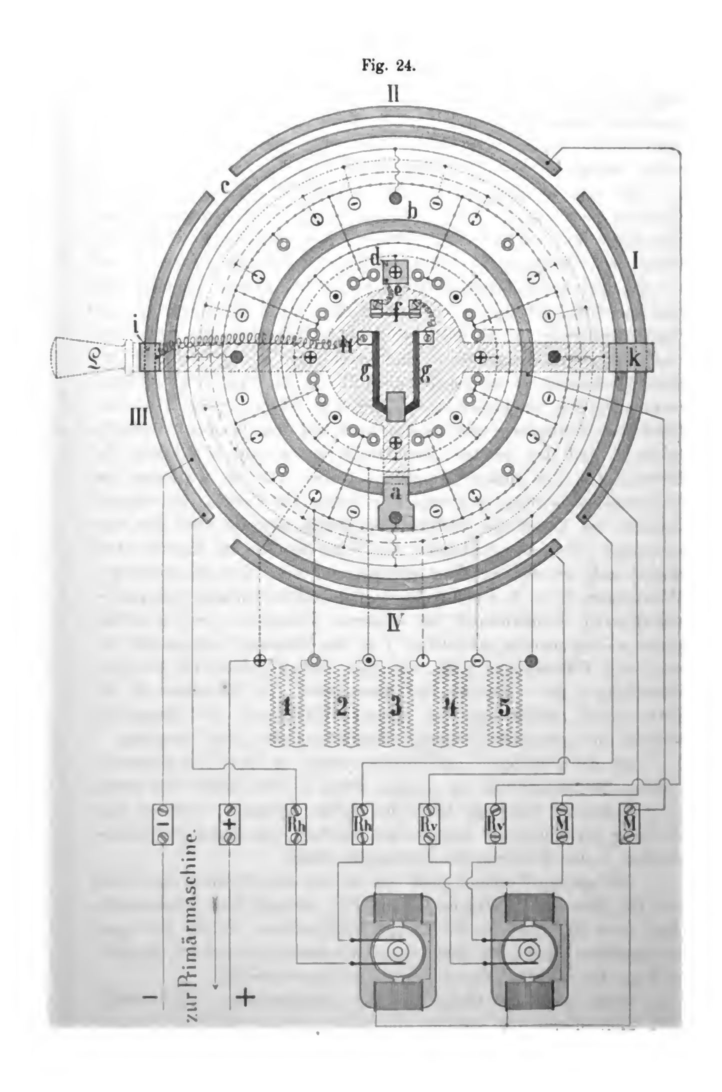
Ist der Schalthebel nach rechts gelegt, so bleibt die Stromverteilung die gleiche wie im vorigen Falle; es wird jedoch der Strom in umgekehrter Richtung durch den Anker geschickt, wodurch eine Drehung des Ankers in umgekehrter Richtung und damit des Scheinwerfers in der Richtung des Uhrzeigers erfolgt.

Der gleiche Vorgang spielt sich ab bei einer Stellung des Hebels auf der Mitte der Quadranten II und IV, nur mit dem Unterschiede, dass dann die Klemmen Rv Rv des Elektromotors für die Bewegung im vertikalen Sinne den Ankerstrom aufnehmen und dadurch die Einstellung des Scheinwerfers in vertikalem Sinne erfolgt.

Dreht man den Hebel aus den Hauptstellungen für schnellsten Gang heraus und verfolgt die Lagen auf den übrigen Kontakt-

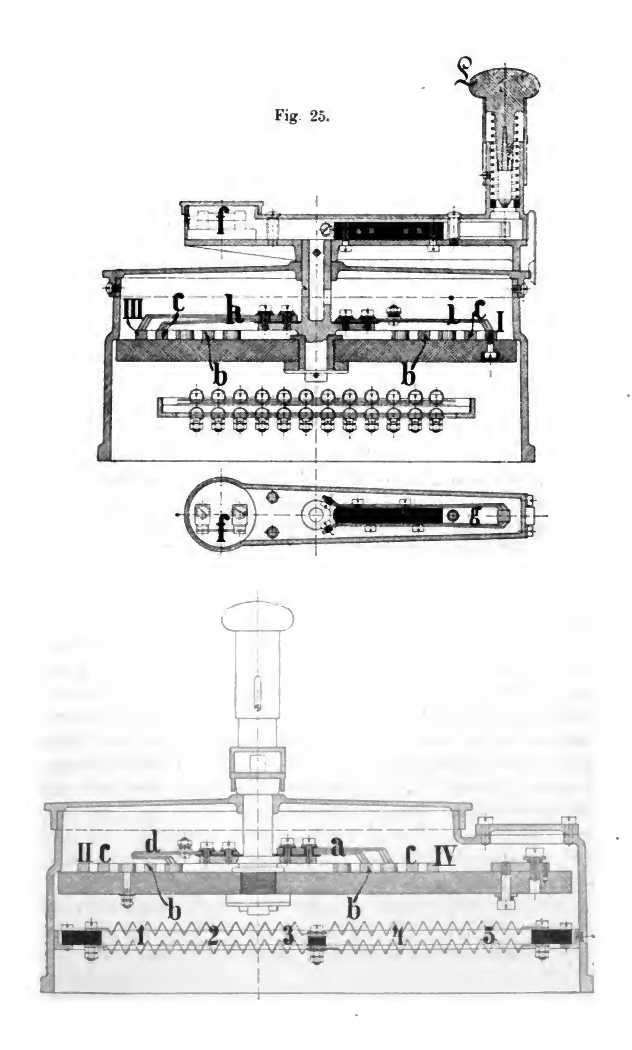
Digitized by Google

Fig. 24.



Digitized by Google

Fig. 25.



Digitized by Google

knöpfen, so findet man für die Verteilung des Widerstandes folgende Stellungen:

1. vor dem Anker keine Widerstandsabteilung, vor dem Magneten 5 Widerstandsabteilungen,

2. vor dem Anker 1 Widerstandsabteilung, vor dem Magneten 4 Abteilungen,

3. vor dem Anker 1 Widerstandsabteilung, vor dem Magneten 3 Abteilungen,

4. vor dem Anker 2 Widerstandsabteilungen, vor dem Magneten 1 Abteilung.

Diesen vier Stellungen entsprechen stetig abnehmende Geschwindigkeiten von der vollen bis zu etwa ¼ derselben.

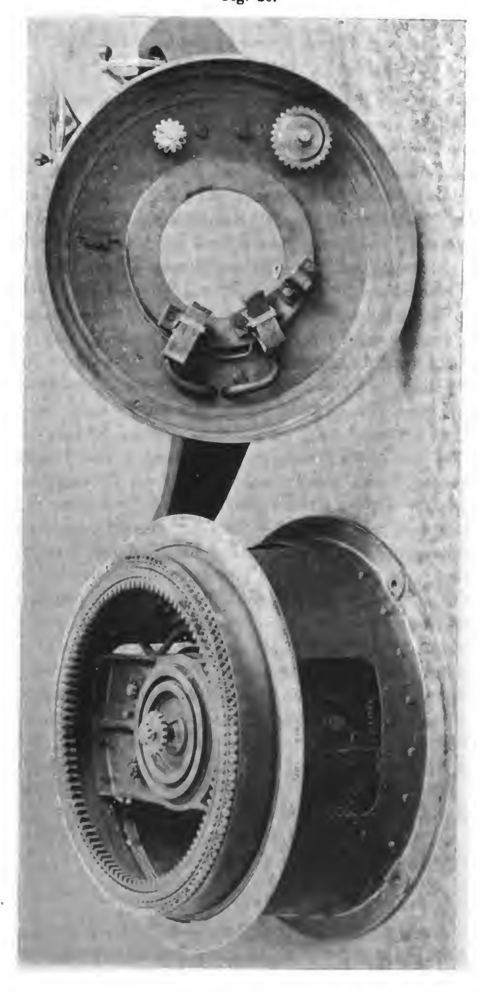
Es ist nicht ratsam, den Strom für die elektromotorische Bewegung der Scheinwerfer dicht vor der Scheinwerferlampe abzuzweigen, wenn die Handhabung auch bei nicht brennender Lampe erfolgen soll und eine Leitung, welche grossen Spannungsverlust bei brennender Lampe verursacht, vorgeschaltet ist; die Betriebsspannung für die Motoren würde in diesem Falle bei ein- und ausgeschalteter Lampe eine verschiedene sein. Ist der Spannungsabfall in der Leitung dagegen gering und ein Beruhigungswiderstand in der Nähe des Scheinwerfers vorhanden, so kann vor dem Widerstand abgezweigt werden. Da der Umschalter ohnehin entfernt vom Scheinwerfer aufgestellt wird, so wird es Regel sein, dass der Umschalter durch ein zweilitziges Kabel direkt mit der Stromquelle verbunden wird.

Ein sechslitziges Kabel führt vom Umschalter zum Scheinwerferuntersatz und wenn die Elektromotoren auf dem Drehtisch angebracht sind, erhalten sie Strom durch Vermittelung von Kontaktfedern und Schleifringen (Fig. 22). Bei den neueren Scheinwerfern, besonders bei jenen, in welchen statt der zwischen Untersatz und Drehtisch gelegten Rollenkränze Kugellagerung verwendet ist, sind die Elektromotoren im Untersatz, wie in Fig. 26 veranschaulicht, angeordnet und mittels Schneckenvorgelege und Kettenübertragung mit den auf dem Drehtisch angebrachten Bewegungsmechanismen verbunden. In diesem Falle kommen Schleiffedern und Schleifringe für die Motoren in Wegfall.

Der Umschalter wird auch mit zwei Hebeln ausgestattet, wenn gefordert wird, dass beide Bewegungen des Scheinwerfers gleichzeitig, jede mit beliebiger Geschwindigkeit, ausgeführt werden sollen.

Digitized by Google

Fig. 26.



Digitized by Google

Verständigung durch Zeichengeben nach dem Morsealphabet mit Scheinwerfern.

Nicht nur zur Beleuchtung des Vorfeldes, sondern auch zur Verständigung mit vorgeschobenen Posten oder zur Uebermittelung von Befehlen an entfernte Heeresabteilungen oder Schiffe leistet der Scheinwerfer vorzügliche Dienste. Zu diesem Zweck muss er mit besonderen Vorrichtungen, die es gestatten, das Licht nach Belieben abzublenden, sogenannten Verdunkelungs- oder Signalisierapparaten versehen sein. Halbkreisförmige Thüren, die um seitlich am Scheinwerfergehäuse angebrachte Scharniere geöffnet oder geschlossen werden können und aus einzelnen Blättern bestehende jalousieartig angeordnete Abblendevorrichtungen haben gute Dienste gethan; auch Vorhänge, welche hinter dem Abschlussglase ins Gehäuse eingesetzt und durch Zug von rückwärts bedient werden, haben Verwendung gefunden; ebenso Abschlussthüren aus Blech mit kleinen Oeffnungen, die leicht zu öffnen und zu schliessen sind. Alle diese Einrichtungen zeigen mehr oder minder grosse Unvollkommenheiten. Die letzterwähnten bringen nur einen geringen Teil des Lichtstrahles zur Verwendung und sind nicht immer zum Gebrauch bereit, können vielmehr erst im Bedarfsfalle vor das Gehäuse gesetzt werden. Halbkreisförmige um Scharniere zu öffnende Thüren haben den Nachteil, dass sie der grossen Ausladung halber viel Aufstellungsplatz beanspruchen und bei windigem Wetter nur sehr schwer bewegt werden können. Für dauernden Gebrauch zum Signalisieren sind sie kaum geeignet. Jalousieartige Signalisierapparate haben den Anforderungen noch am meisten entsprochen; auch sie blenden aber, wenn sie stets am Gehäuse bleiben sollen, einen Teil des nutzbaren Lichtes ab, verringern also die Leistungsfähigkeit des Scheinwerfers. Vorhänge sind nicht haltbar; bis jetzt steht kein Stoff zur Verfügung, der bei genügender Geschmeidigkeit auf die Dauer den Einwirkungen der hohen Wärme des Lichtstrahles Widerstand leistet. Alle diese Einrichtungen leiden auch noch an dem Umstande, dass ein vollständiges Verdunkeln des Lichtes nicht gut bewirkt werden kann. Die kleinsten Oeffnungen lassen noch genügend Licht ausstrahlen, um den Aufstellungsplatz des Scheinwerfers auf erhebliche Entfernungen zu verraten.

Irisblende.

Die neuesten Scheinwerfer der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. sind mit einer Vorrichtung ausgestattet, die

Digitized by Google

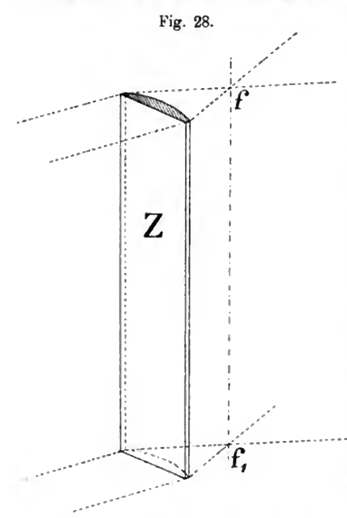
entschieden allen vorgenannten Apparaten überlegen ist. Nach dem Vorbilde der Irisblende an photographischen Objektiven versieht sie auch die Scheinwerfer mit einer Irisblende, deren Blätter sich in eine mit Falz versehene, in der Achse des Strahles gelegene feste Blende hineinschieben. Diese Mittelblende (Fig. 27) hängt an Stahldrähten oder stützt sich auf Querspangen, die am Gehäuse befestigt sind. Die Irisblende besteht im wesentlichen aus einer Anzahl dünner kreisförmig ausgeschnittener Blechstreifen, die mit ihren einen Enden DD unter Zwischenlage von Lenkern EE an einem am Scheinwerfergehäuse fest angesetzten Ring A bei den Punkten FF gelagert sind. Die anderen Enden hängen an Drehzapfen, die auf einem Ring B verteilt sind, der sich in dem ersterwähnten Ringe unter Zwischenlage eines Kugelkranzes dreht. Der bewegliche Ring ist mit einer Handhabe versehen, die durch einen Schlitz im Deckbleche der Blende nach aussen vorsteht. In den Enden des Schlitzes sind Gummipuffer eingesetzt, die den Stoss beim Anschlagen der Handhabe mildern. Fig. 27 zeigt in der oberen Hälfte die Irisblende in geschlossenem, halb- oder ganz geöffnetem Zustande. In der unteren Hälfte ist der gleiche Zustand unter Weglassung eines grösseren Teils der Blätter veranschaulicht. In der geöffneten Stellung der Blende legen sich die Blätter in einen ringförmigen Ausbau des Gehäuses, alle vor einander gelagert, die festen Drehpunkte auf den ganzen Ringumfang verteilt. Wird der bewegliche Ring mittels der Handhabe nach der Schlussstelle hin gedreht, so treten die Blätter, an diesem Ring in gleicher Teilung gelagert, aus dem ringförmigen Ausbau heraus, verengern die Oeffnung mehr und mehr, bis sie sich in den Falz der Mittelblende einschieben und so die ganze Gehäuseöffnung schliessen. Die Bleche sind so breit gewählt, dass die benachbarten sich schon reichlich überdecken; zieht man noch in Betracht, dass die freien Enden der Blätter noch von den festgelagerten Enden der gegenüberliegenden Blätter verdeckt werden, so ist wohl zu verstehen, dass durch diese Vorrichtung ein vollständiges Verdunkeln erreicht werden kann. In der That kann bei Scheinwerfern, die mit Irisblende ausgestattet sind, schon in der nächsten Umgebung nicht der geringste Lichtschimmer nach aussen hin wahrgenommen werden. Dieser Umstand ist für Kriegsschiffe, deren Lage der Beobachtung durch den Feind entzogen sein soll, die aber ihre Scheinwerfer für Torpedobootsangriffe stets bereit haben müssen, von der grössten Bedeutung.

Digitized by Google

Der Streuer.

Wenn wir es als hervorragende Eigenschaft des Scheinwerferspiegels erkannt haben, dass der Lichtstrom einer gegebenen Lichtquelle in einem geschlossenen Lichtstrahl von geringster Streuung für die Beleuchtung in einer bestimmten Richtung ausgenützt wird, so haben wir andererseits schon verschiedene Fälle berührt, in denen es erwünscht oder unbedingt nötig ist, das Feld in horizontaler Richtung in möglichst grosser Ausdehnung zu beleuchten. Zu diesem Zwecke werden optische Gläser verwendet, die unter dem Namen Streuer gleichfalls schon an verschiedenen Stellen erwähnt und teilweise erklärt wurden.

Fig. 28.

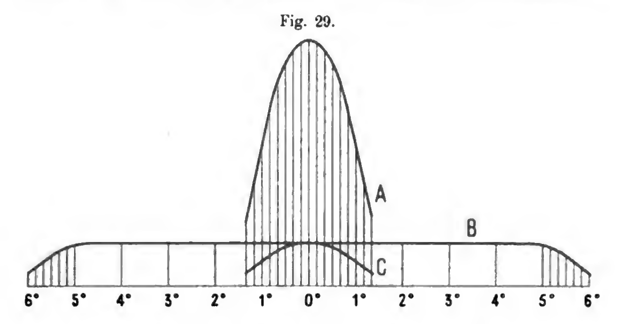


Fällt paralleles Licht auf eine gewöhnliche, konvex oder konkav gestaltete Glaslinse, die durch Kugelflächen begrenzt wird, so werden sämtliche Lichtstrahlen so gebrochen und weitergeführt, wie wenn sie aus dem Brennpunkte der Linse kämen; sie treten in einem Strahlenkegel aus, der seine Spitze im Brennpunkte der Linse hat. Werden aber nun Abschnitte eines Glascylinders, sogenannte Cylinderlinsen (Fig. 28) benützt, so treten parallel auffallende Lichtstrahlen in einer Richtung ungebrochen durch das Glas hindurch, in der anderen werden sie, wie bei der kugelförmig begrenzten Linse gebrochen, d. h. die Cylinderlinse besitzt keinen Brennpunkt, sondern eine Brennlinie, und sämtliche Strahlen werden so gebrochen, dass sie ins Feld austreten als ein Lichtkeil, dessen Schneide die Brennlinie bildet. Stellen wir eine Anzahl solcher Gläser zu einer runden Scheibe von der Grösse des Abschlussglases derart zusammen, dass sämtliche Streifen parallel zu einander angeordnet sich in vertikaler Lage befinden, so erhalten wir eine Reihe von Lichtkeilen, die das Licht in der Senkrechten nur

Digitized by Google

unter dem durch die Ausdehnung des Kraters bedingten Leuchtwinkel ins Vorfeld gelangen lassen. In der Horizontalen dagegen überlagern sich alle mit gleicher Streuung austretenden Lichtkeile vollkommen, so dass innerhalb des Streuwinkels horizontal eine ganz gleichmässige Beleuchtung erzielt wird; über den Streuwinkel hinaus findet, wie beim geschlossenen Strahl, sehr schnell eine Abnahme der Helligkeit statt. Fig. 29 zeigt die räumliche Verteilung des Lichtes; es bedeuten: die Abscissen die Streuung in Graden, die Ordinaten die Intensitäten im

Fig. 29.



beleuchteten Felde. Kurve A gilt für den geschlossenen Strahl, B zeigt einen durch die Achse gelegten Schnitt in der Horizontalen und C den zugehörigen Schnitt in der Senkrechten; beide letzteren Kurven verstehen sich für die Verwendung eines das Licht auf 12° ausbreitenden Streuers.

Wie wir gesehen haben, entspricht der einfache Streuer nicht allen Anforderungen auf Kriegsschiffen. Es soll deshalb auch der schon genannte Scheinwerfer mit Doppelstreuer kurz beschrieben werden.

Scheinwerfer mit Doppelstreuer.

Fig. 30 zeigt einen Apparat, der sich, was Untersatz und Bewegungsvorrichtungen anbelangt, von den bisher beschriebenen Modellen nicht unterscheidet; der Scheinwerfer ist mit elektromotorischer Fernbewegung ausgestattet; die Elektromotoren sind auf dem Drehtisch aufgesetzt. Das Gehäuse zeigt wesentliche Aenderungen; an Stelle des Abschlussglases oder des einfachen Streuers sind zwei Streuer angebracht, deren Gläser unter sich parallel stehen, so zwar, dass je zwei zusammenwirkende Gläser des vorderen oder hinteren Streuers sich

Digitized by Google

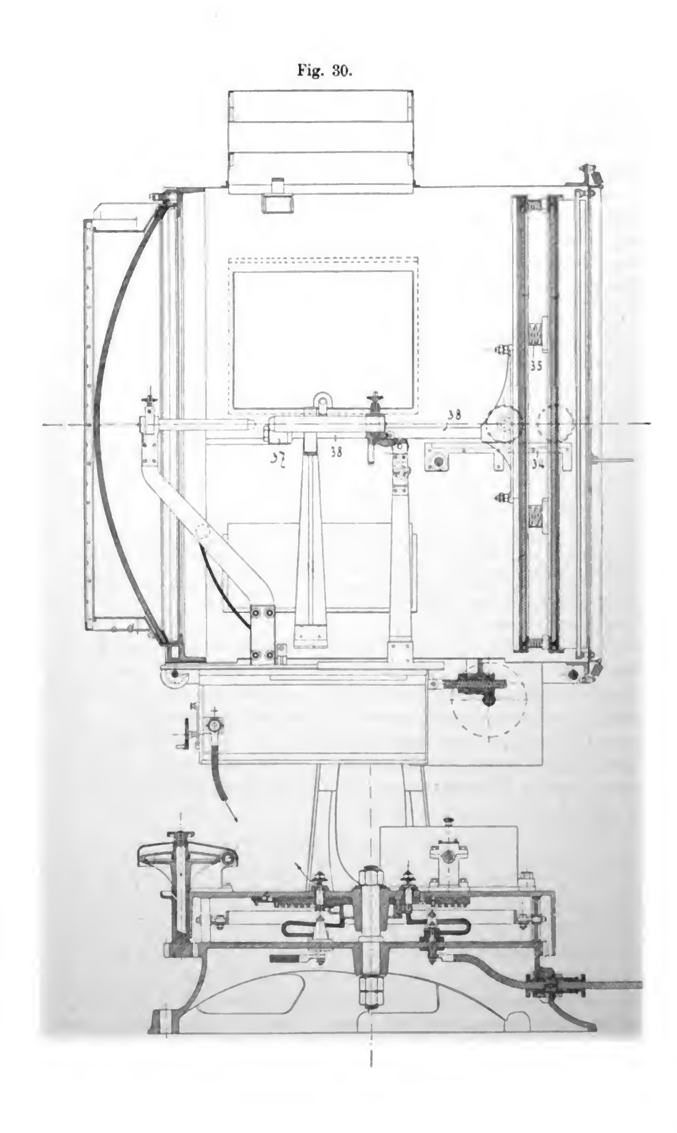
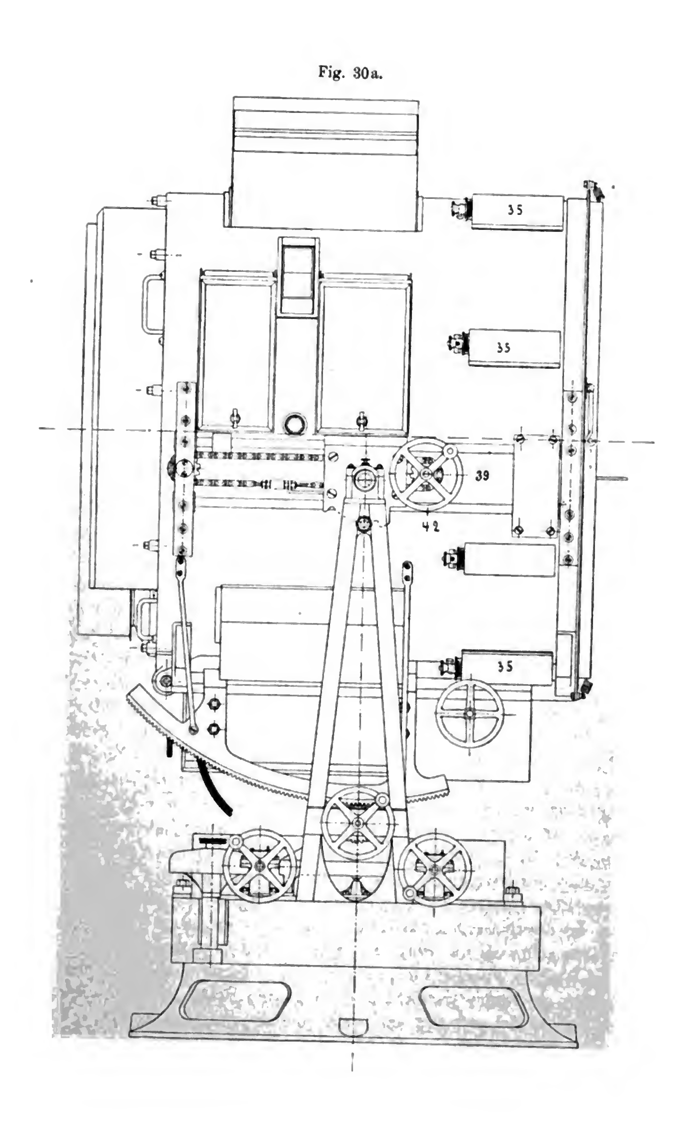


Fig. 30.

Digitized by Google

Fig. 30a.



Digitized by Google

optisch vollkommen decken. Beide Streuerscheiben können durch eine Parallelführung einander genähert oder um die Summe der Brennweiten der Gläser von einander entfernt werden. Bei dem in Fig. 30 und 30a dargestellten Scheinwerfer sitzt der vordere Streuer mit zwei Führungsrollen auf seitlichen Leisten (34) des Gehäuses und ist mit demselben ausserdem durch acht in Büchsen eingeschlossene Doppelfedern (35) verbunden. Er ist somit als feststehend zu betrachten, abgesehen von dieser federnden Aufhängung, die erforderlich ist, um die Gläser starken Lufterschütterungen gegenüber, wie sie durch das Abfeuern von in der Nähe befindlichen Geschützen erzeugt werden, zu schützen; die Anordnung von zwei sich entgegen wirkenden Federn sichert eine bestimmte Ruhelage. Der hintere Streuer erhält eine Parallelverschiebung, einerseits durch Führung zweier Rollen auf denselben Gleitschienen (34), andererseits durch nach rückwärts gehende Längsstäbe (38), die mit dem Streuerrahmen verbunden und mit Oesen versehen sind, welche durch einen Schlitz im Gehäuse nach aussen vorstehen und je eine der Streben aus Rundstahl umfassen, auf welchen die Tragzapfen des Gehäuses befestigt sind. Quer durch das Gehäuse geht eine dünne Welle (39), auf deren Enden ausserhalb des Gehäuses beiderseits kleine Kettenrollen und einerseits ein Handrad (42) befestigt sind. Die über die Kettenrollen gelegten Ketten gehen beiderseits über hinten am Gehäuse gelagerte Führungsrollen und sind mit Spannvorrichtungen ausgestattet. Die vorhin erwähnten, aus dem Gehäuse heraustretenden Oesen fassen den oberen Kettenstrang, werden also bei einer Drehung des Handrades (42) in vor- oder rückgängigem Sinne verschoben, wobei der hintere Streuer in gleichem Sinne mitgenommen wird. Zur Aufrechterhaltung der Schwerpunktslage werden an dem unteren Kettenstrang befestigte Bleigewichte entgegengesetzt dem Streuer verschoben.

Sind durch Verstellen des hinteren beide Streuer um die Summe ihrer Brennweiten voneinander entfernt, so werden die vom Parabolspiegel reflektierten Strahlen aa (Fig. 31) vom ersten Linsensystem so gebrochen, dass sie sich in der Brennlinie f der Linsen vereinigen und von hier aus divergieren. Die Punkte f sind auch die Brennlinien des zweiten äusseren Linsensystems von kürzerer Brennweite; treffen nun die divergierenden Strahlen auf diese Linsen, so werden sie, als aus deren Brennlinien kommend, wieder parallel gemacht.

Weil die äusseren Linsen eine geringere Brennweite haben, als die inneren, so werden sie nicht in ihrer ganzen Breite vom divergierenden Lichtbündel getroffen und bleibt deshalb zwischen den nach dem Durchgang durch die zweiten Linsen parallel gewordenen Strahlen ein

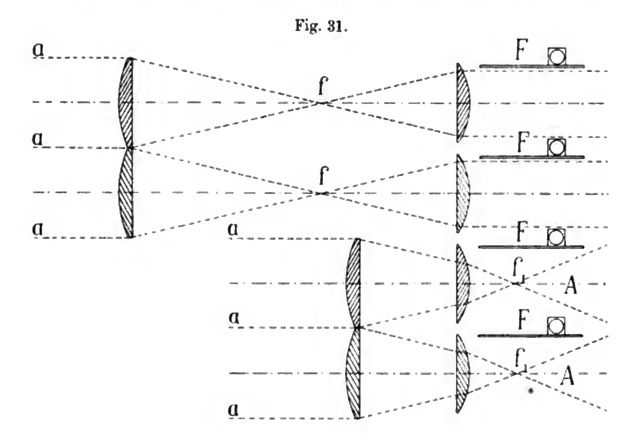


Digitized by Google

Raum, der kein Licht erhält und somit dem Flügel F des jalousieartigen Signalisierapparates Platz gibt, der also kein nutzbares Licht abfängt.

Sind die Linsen der beiden Streuer in ihrer Nahestellung, so werden die vom Parabolspiegel kommenden Strahlen a a durch das erste Linsensystem in gleicher Weise wie im vorigen Falle nach der Brennlinie dieser Linsen hin gebrochen. Ehe dieselben jedoch zur Vereinigung kommen, treffen sie auf die Linsen des zweiten Streuers, wodurch die schon konvergierenden Strahlen noch mehr konvergierend gemacht werden; die beiden Linsen wirken dann wie eine einzige von geringerer Brennweite. Da die Lichtstrahlen die Linsen konvergierend verlassen, in

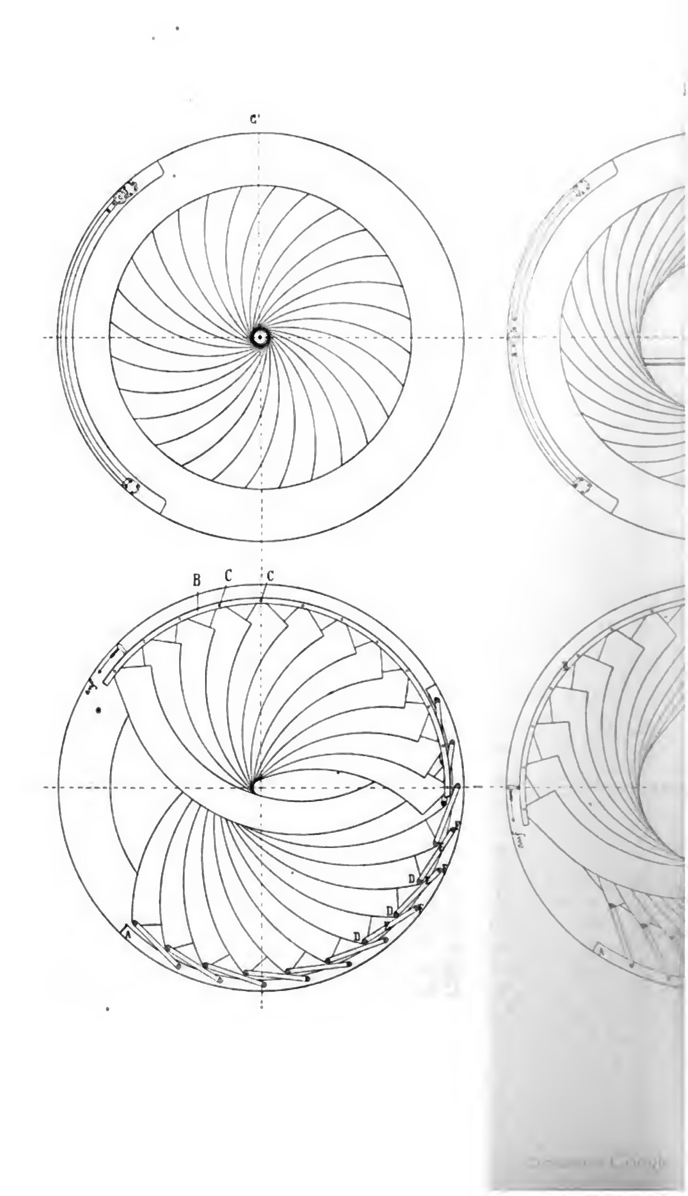
Fig. 31.

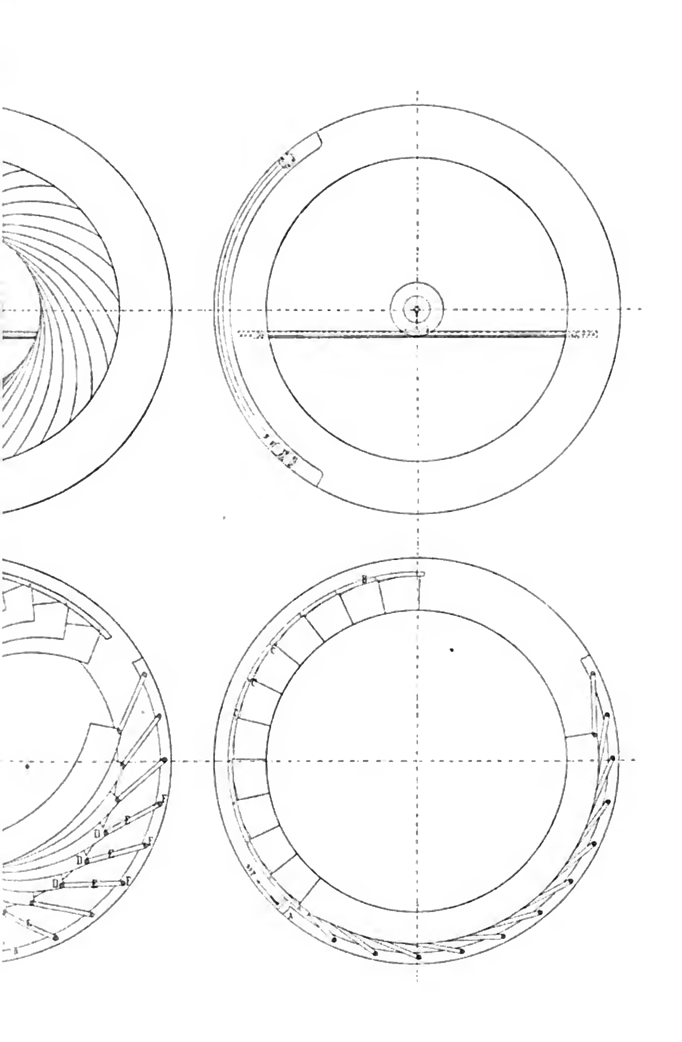


deren gemeinschaftlicher Brennlinie f_1 sich kreuzen und erst von hier aus unter dem Streuungswinkel A divergieren, so bleibt auch bei dieser Anordnung ein dunkler Raum für die Flügel F des Signalisierapparates.

Fig. 32 und 33 zeigen eine neue Konstruktion des mit gleichen Mitteln ausgestatteten Scheinwerfers. Der Untersatz hat Kugellagerung erhalten; die Elektromotoren für die Bethätigung der Fernbewegung sind vom Drehtisch weg in den Untersatz verlegt und in eine wasserdichte Schutzhülle eingebaut worden. Der Doppelstreuer ist unabhängig vom Scheinwerfergehäuse in ein besonderes Gehäuse eingebaut und kann als Ganzes vor das Scheinwerfergehäuse gesetzt, nach Bedarf abgenommen und gegebenenfalls auch durch ein Abschlussglas ersetzt werden.

Digitized by Google


C'
B
C
C
A
D
D
D



Digitized by Google

Zur Parallelverschiebung der Streuer dient folgende Einrichtung. An den beiden Versteifungswinkeln des Streuergehäuses sind unter 120° verteilt drei rechts- und linksgängige Schraubenspindeln gelagert, die in entsprechend am Umfange der Streuer angebrachte Muttern passen. Auf einer am besten zur Hand liegenden Spindel ist ein Kegelrad aufgesetzt, in welches ein zweites, mit einer nach aussen gehenden Achse versehen, eingreift. Ein auf dem äusseren Ende dieser Achse angebrachtes Handrad gestattet somit ein Drehen der Spindel. Alle drei Spindeln tragen auf ihrem inneren Ende Zahnräder, welche in einen, auf Kugeln zentrisch zum Gehäuse gelagerten, Zahnkranz eingreifen. Die Bewegung der durch Handrad gedrehten Spindel wird unter Vermittlung des mitgedrehten Zahnkranzes auch auf die anderen zwei Schraubenspindeln übertragen, wodurch ein von drei Punkten ausgehendes gleichmässiges Zusammen- oder Auseinanderschrauben der beiden Streuer bewirkt wird. Die zum völligen Abdunkeln des Scheinwerfers dienende Irisblende ist hier zwischen dem Scheinwerfer- und dem Streuergehäuse eingesetzt. Da die Irisblende zum raschen Zeichengeben auf die Dauer nur schwer benützt werden kann, ist hier noch ein jalousieförmiger Signalisierapparat vorgesehen; derselbe hängt an dem vorderen Streuer und nimmt an dessen Bewegung teil.

Soll an Stelle des Doppelstreuers ein Abschlussglas treten, so muss dieses in ein schweres Gehäuse eingesetzt werden, damit das Gleichgewicht des ganzen Scheinwerfergehäuses aufrecht erhalten bleibt.

Scheinwerfer für Handelsmarine und für Effektbeleuchtungen etc.

Nachdem bisher nur von Einrichtungen die Rede war, die für Militär oder Kriegsmarine gebraucht werden, soll der Vollständigkeit halber noch erwähnt werden, dass auch die Handelsmarine sich kleiner Scheinwerfer bei der Durchfahrt von Wasserstrassen (hauptsächlich des Suezkanals) zur Beleuchtung der Ufer und des Fahrwassers bedient. Der bei diesen Scheinwerfern zur Ausbreitung des Lichtes dienende Streuer ist für den Suezkanal so konstruiert, dass an eine dunkle, 5° umfassende Zone sich rechts und links beleuchtete Zonen von ebenfalls 5° Ausdehnung anschliessen. Die Scheinwerfer selbst sind vor dem Bug des Schiffes in besonders dazu gebauten Gehäusen aufgestellt.

Auch Bagger, Eisbrecher und Zollschiffe bedienen sich mit Vorteil der Scheinwerfer bei ihrer nächtlichen Thätigkeit.

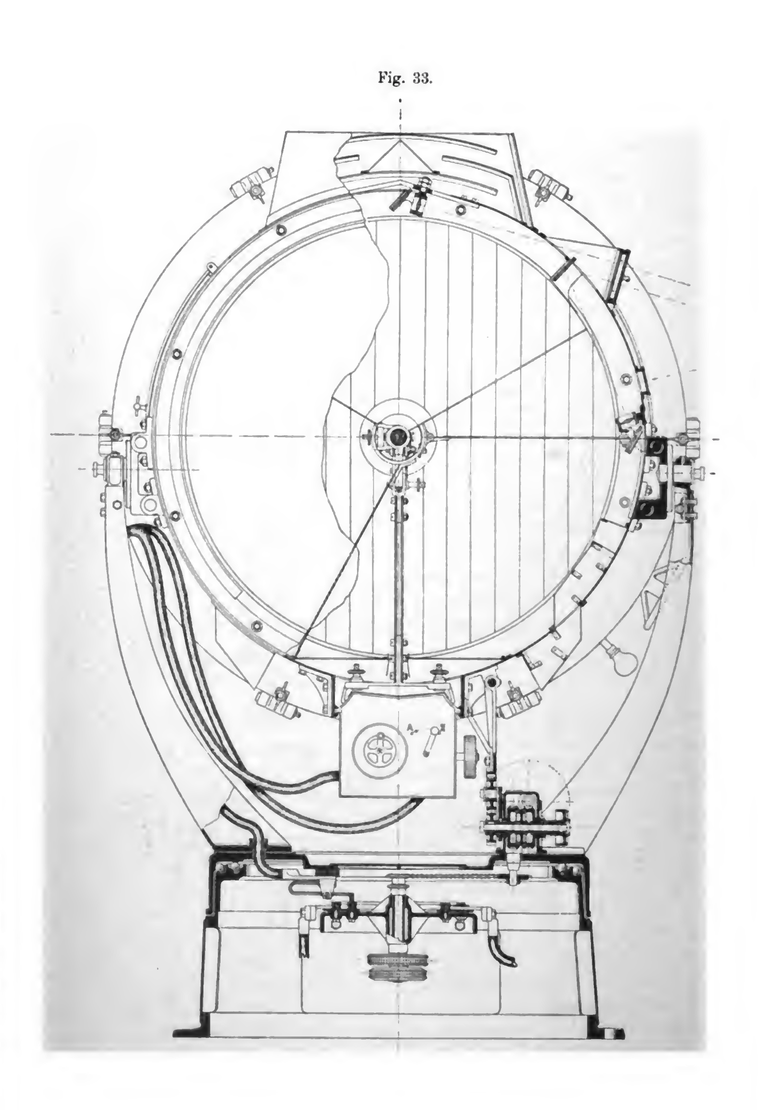
Zur Hervorbringung besonderer Beleuchtungswirkungen, auf Bühnen, bei festlichen Gelegenheiten, kann man heute des Scheinwerfers

Digitized by Google

Fig. 32.

Digitized by Google

Fig. 33.



Digitized by Google

kaum mehr entbehren. Die herrlichen Farbenspiele der „Fontaine lumineuse“ auf der Ausstellung in Paris, die zauberhaften Lichtwirkungen der Wasserfälle der Grotte auf der elektrotechnischen Ausstellung in Frankfurt a. M. im Jahre 1891, alle massig und grossartig wirkenden Effekte bei leuchtenden Springbrunnen der letzten Ausstellungen werden durch Scheinwerfer hervorgerufen.

Auch die vervielfältigenden Künste ziehen Nutzen aus der Eigenschaft der Scheinwerfer, eine gegebene Lichtquelle in möglichst vorteilhafter Weise auszunützen und zur Beleuchtung von Flächen beliebiger Ausdehnung zu verwenden.

Vor das Scheinwerfergehäuse wird eine Scheibe mit zunächst vertikal durchlaufenden Streugläsern gesetzt, die das Licht in horizontalem Sinne, in der Regel unter einem Winkel von 20° ausbreiten. Dicht vor diese Scheibe kommt eine zweite mit horizontal durchlaufenden Streuern, die eine gleiche Ausbreitung in vertikalem Sinne hervorruft. Der Umstand, dass jeder einzelne Glasstreifen das erhaltene Licht unter vorstehend angegebenem Winkel in gleicher Ausdehnung verbreitet, das Licht sämtlicher Gläser sich demnach übereinanderlagert, ermöglicht eine vollkommen gleichmässige Beleuchtung einer gegebenen Fläche, deren Grösse durch Veränderung des Abstandes des Scheinwerfers oder durch Wahl passender Streuungsgrade dem Bedürfnisse angepasst werden kann. Unter gewöhnlichen Verhältnissen kommt man mit einer Entfernung von 5 m aus und beleuchtet dabei eine Fläche von ungefähr 1,8 m Höhe und Breite ganz gleichmässig.

Die Helligkeit der Beleuchtung in dieser Entfernung von 5 m mit Benützung eines Scheinwerfers von 60 cm Spiegeldurchmesser, einer Lampe von 60 Amp. und bei einer Streuung von 20°, also die Beleuchtung einer Fläche in der oben angegebenen Grösse, steht zu der Helligkeit, hervorgebracht durch direkte Beleuchtung von der Sonne, in dem Verhältnis von ungefähr 1 : 3, d. h. die Helligkeit ist etwas mehr, als $^1/_3$ der durch Sonnenbeleuchtung erzielten. Die beschriebene Einrichtung eignet sich hauptsächlich zur Aufnahme von Oelgemälden; im übrigen zu allen Arbeiten der vervielfältigenden Photographie.

Stromquellen für Scheinwerfer.

Wenn für Scheinwerfer Strom aus grösseren bestehenden Elektrizitätswerken nicht zur Verfügung steht oder der Bezug aus solchen in Kriegszeiten gefährdet erscheint, so müssen besondere Anlagen geschaffen werden. Als Kraftquelle können, je nach Umfang und Lage

Digitized by Google

der Maschinenstation, Dampfmaschinen mit Kessel, Benzin- und Petroleummotoren, in seltenen Fällen Gasmotoren Verwendung finden. In der Regel hat man sich bis jetzt sogenannter Dampfdynamos, schnelllaufende vertikale Dampfmaschinen mit direkt angekuppelter Dynamomaschine, bedient. Einrichtungen dieser Art sind zur Genüge bekannt und können hier übergangen werden.

Es sollen in folgendem nur fahrbare Stromerzeugungsanlagen etwas eingehender behandelt werden. Das Nächstliegende war, sich der Dampfmaschine zu bedienen und diese, sowie Kessel und Dynamomaschine auf einem Fahrgestell zu vereinigen. Auch hier gebührt der französischen Firma Sautter, Lemonnier & Co., Paris, das Verdienst, bahnbrechend gearbeitet zu haben; ihre Beleuchtungswagen waren lange Zeit mustergiltig und von keinem anderen Verfertiger solcher Fahrzeuge erreicht. Als Dampfmaschine wurde die Dreicylinder-Brotherhoodmaschine benützt, welche ungefähr 950 Umdrehungen in der Minute machte und direkt mit einer Dynamomaschine gekuppelt war. Die hohe Umdrehungszahl der Dampfmaschine ermöglichte die Verwendung von Maschinen geringen Gewichtes, was für fahrbare Einrichtungen ausschlaggebend war. Als Kessel kamen Fieldsche Röhrenkessel in Gebrauch. Wenn es sich um geringe Leistungen handelte, so konnten Beleuchtungswagen dieser Art recht gute Dienste leisten; für höhere Leistungen wurden sie zu schwer.

Im Jahre 1885 nahm auch die Firma S. Schuckert den Bau von Beleuchtungswagen auf. Mit Siederohrkessel von der Lokomotivfabrik Krauss & Co. in München und Viercylindermotoren, System Abraham, einer der Brotherhoodmaschine ähnlichen Dampfmaschine, gelang es ihr, eine fahrbare Beleuchtungseinrichtung zu schaffen, mit der sie gegenüber dem französischen Beleuchtungswagen einen bedeutenden Vorsprung gewann und zwar gerade in einem wichtigen Punkte, im Gewichte. Bei gleicher Leistung erzielte sie ein Gewicht von rund 3800 kg, während der französische Wagen rund 4700 kg wog. Ende der achtziger Jahre bis heute entspann sich nun zwischen verschiedenen Firmen ein Wettstreit, dessen Ziel die Erreichung geringsten Gewichtes bei höchster Leistung war. Verminderung des Kesselgewichtes und Erhöhung der Umdrehungszahl der Dampfmaschine konnten allein Verbesserungen bringen, die Dynamomaschine passte sich unter allen Umständen der Dampfmaschine an.

In der Folge sollen nun von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. in den letzten Jahren gelieferte Beleuchtungswagen beschrieben werden.

Digitized by Google

Beleuchtungswagen mit Dampfturbine.

Die Plattform eines vierräderigen, grösstenteils aus Eisen gebauten Wagens (Fig. 34) ist nach rückwärts zu einem ringförmigen Träger ausgebildet, auf welchen sich ein mit der Feuerbüchse nach

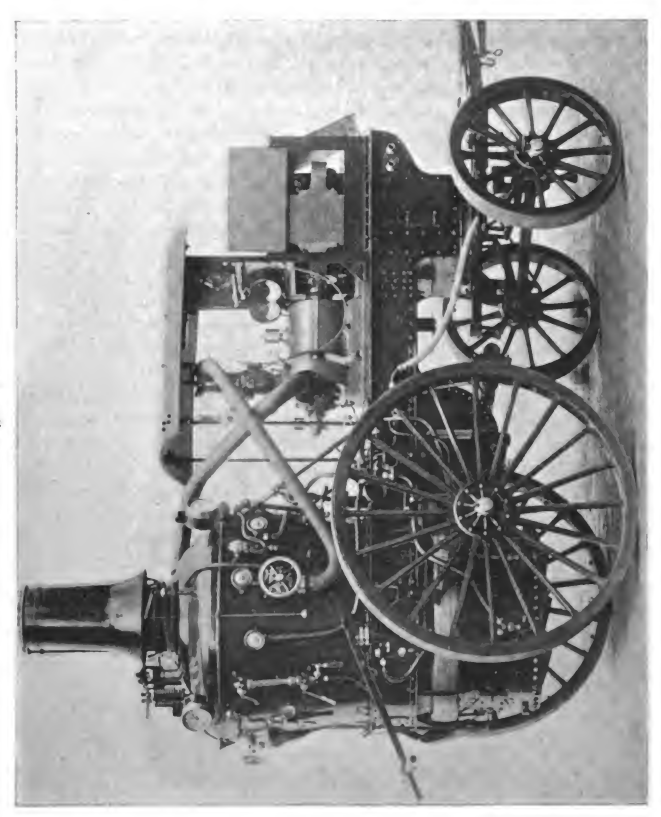


Fig. 34.

Digitized by Google

unten durchgehender Siederohrkessel aufsetzt. Vor dem Kessel, gleichfalls nach unten vorstehend, ist an der Plattform ein Wasserkasten angebracht, aus welchem während des Betriebes der Kessel mit Wasser versorgt wird. Zwischen Kessel und Wasserkasten geht die der Feuerbüchse wegen etwas ausgekröpfte Achse der Hinterräder durch, auf welche sich unter Vermittelung von geschichteten Blattfedern die Plattform des Wagens stützt. Das Vorderteil der Plattform ist nach unten kastenförmig ausgebaut und ruht auf einem vollständig durchlenkbaren Untergestell. In dem kastenförmigen Unterbau sind die für den Betrieb nötigen Werkzeuge und Materialien untergebracht.

Zwischen Vorder- und Hinterrädern ist auf die Plattform des Wagens die Dampfmaschine aufgesetzt, und mit dieser direkt gekuppelt befindet sich über den Vorderrädern die Dynamomaschine in einem Blechgehäuse, das sie vor atmosphärischen Niederschlägen schützt. Die der Dampfmaschine zugekehrte Wand des Schutzgehäuses ist nach oben verlängert und nimmt ausser dem Nebenschlussregulator einen Strom- und Spannungsmesser auf. Ausserdem dient es einem die Dampfmaschine und Apparate schützenden Dache als Stütze. Auf der anderen Seite wird das Dach durch zwei von der Plattform ausgehende Stäbe getragen. Von einem seitlich am Kessel angebrachten Ventil, welches mit Handrad bethätigt werden kann, führt ein Rohr den frischen Dampf zur Maschine, ein zweites, etwas weiteres Rohr führt den Abdampf in das Rauchrohr des Kessels, hier in einem Ring endigend, der mit einer nach oben gehenden düsenförmigen Oeffnung versehen ist, durch welche der Dampf austritt und durch den Kamin ins Freie befördert wird, dabei den Zug des Kamins verstärkend.

Kessel. Der Kessel ist für zwölf Atmosphären Betriebsdruck gebaut; er besteht aus einem inneren cylindrischen und einem äusseren konischen, sich nach oben erweiternden Stahlmantel. Beide sind oben durch das Rauchrohr, unten durch die Feuerbüchse verbunden. Der innere Kesselmantel ist mit einer grossen Anzahl quer durchlaufender Siederöhren versehen, die sich vielfach kreuzend überlagern. Die Roststäbe sind in Bündeln zusammengesetzt in die Feuerbüchse eingelegt. Der Kessel ist mit den üblichen Armaturstücken reichlich ausgestattet. Es sind vorgesehen:

1. Ein Sicherheitsventil, welches Dampf entweichen lässt, wenn die Spannung über zwölf Atmosphären steigt.

2. Zwei Manometer, von denen eines dem Heizer, das andere dem Maschinisten die vorhandene Dampfspannung anzeigt.

3. Zwei Wasserstandsgläser mit Schutzgitter. Diese und die Mano-

Digitized by Google

meter sind für den Nachtbetrieb mit Beleuchtungsvorrichtungen ausgestattet.

4. Ausser den Wasserstandsgläsern sind noch zwei Probierhähne angebracht; der obere, am Orte des höchst zulässigen Wasserstandes vorgesehene darf nur Dampf, der untere, an der Stelle des noch zulässigen tiefsten Wasserstandes eingesetzt, nur Wasser austreten lassen.

5. Ein Füllhahn für das Einbringen des Wassers.

6. Ein Dampfaustrittsventil, welches den Dampf dem Motor zuführt.

7. Ein Ventil, welches mittels eines Rohres Frischdampf durch den Schornstein bläst, behufs Verstärkung des Zuges im Rauchrohre.

8. Verschiedene Hähne, welche Dampf für die Speiseapparate liefern und zum Entleeren des Kessels dienen, Verschlussbolzen für die Oeffnungen, die zum Reinigen des Kessels dienen.

9. Speiseköpfe mit Rückschlagventilen, durch welche das Speisewasser in den Kessel eintritt. Die Rückschlagventile verhindern den Austritt von Wasser aus dem Kessel und werden bethätigt, wenn der Kesseldruck den Druck der Speisevorrichtung übersteigt.

10. Zwei Injektoren, welche unter der Wirkung von Frischdampf die Füllung des Kessels übernehmen.

11. Eine Handpumpe, welche dem gleichen Zwecke dient. Eine von diesen drei Speisevorrichtungen genügt in der Regel allein, um das verdampfte Wasser wieder zu ersetzen.

Heizmaterial. Der Kessel kann mit Steinkohlen oder mit einer Mischung von Steinkohlen und Coaks geheizt werden; im Notfalle kann auch gutes Brennholz benützt werden; doch erfordert dies grosse Aufmerksamkeit des Heizers. Sobald die Dampfspannung drei Atmosphären überschritten hat, kann zur Beschleunigung der Anheizperiode Dampf zur Verstärkung des Zuges benützt werden.

Dampfmaschine. Als Dampfmaschine ist eine de Laval-Turbine benützt, deren Konstruktion hier als bekannt vorausgesetzt werden darf. Die Turbinenwelle macht bei neun Atmosphären Dampfdruck 24000 Umdrehungen in der Minute und arbeitet auf ein Vorgelege mit zehnfacher Uebersetzung, so dass die Vorgelegewelle 2400 Umdrehungen macht. Mit dieser Welle ist direkt gekuppelt eine Dynamomaschine mit Compoundwicklung, welche bei 2400 Umdrehungen 7200 Watt liefert.

Der ganze Beleuchtungswagen wiegt rund 3360 kg, wovon die Hauptlast, rund 2460 kg, auf die Hinterräder kommen. Dieser Wagen ist für Feldgebrauch noch recht schwer; ausserdem macht es auch

Digitized by Google

Schwierigkeiten, überall das nötige Wasser zu beschaffen, auch die Zufuhr von Brennmaterial ist nicht immer leicht.

Durch Verwendung von Benzinmotoren schuf die Elektrizitätsaktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. ein dem Dampfwagen in vieler Hinsicht überlegenes Fahrzeug.

Beleuchtungswagen mit Benzinmotor.

Auf einem vierräderigen Fahrgestelle (Fig. 35) sind, geschützt durch ein Holzgehäuse, ein viercylindriger Benzinmotor, geliefert von der Daimlermotorengesellschaft in Cannstatt, und die Dynamomaschine untergebracht. Der mit Schwungrad versehene Motor befindet sich über der Achse der Hinterräder und treibt die Dynamo unter Vermittelung eines Kreisseiltriebes mit dem Uebersetzungsverhältnisse 1 : 2. Die Verwendung des Kreisseiltriebes ermöglicht bei der angegebenen Uebersetzung einen geringen Abstand der Achsen und damit einen gedrängten Bau des Wagens.

Der Gas bereitende Benzinbehälter, der Verdunstungsapparat, befindet sich am Gestelle des Motors, das verbrauchte Benzin wird aus einem auf dem Dache des Wagens angebrachten Gefässe ersetzt. Beim Andrehen des Motors wird durch das Benzin des Verdunstungsapparates Luft gesaugt, welche sich dabei mit Benzindämpfen sättigt. Durch einen Regulierhahn wird das so erzeugte Benzingas vor Eintritt in die Cylinder nochmals mit atmosphärischer Luft gemischt, so dass es das für die Verbrennung richtige Gemenge erhält. Die Kolben des Benzinmotors saugen bei ihrem Niedergange dieses Gasgemenge in die Cylinder und komprimieren es beim nächsten Kolbenhub. In der höchsten Kolbenstellung, also im Zustande der stärksten Verdichtung, entzündet sich das Gasgemenge an der glühenden Innenwand von Platinzündhüten, die durch besondere Benzinlampen stets in glühendem Zustande erhalten werden. In diesen Zündhüten bleiben nach der Explosion gasförmige Verbrennungsrückstände zurück, die nicht wieder entzündet werden; die beim weiteren Arbeitsvorgang neuerdings angesaugten Gasmengen verdichten die im Zündhute angesammelten Gase erst im Zustande höchster Kompression so weit, dass sie selbst an die glühenden Wände gelangen und sich entzünden; die Explosion fällt demnach stets mit dem Zustande höchsten Druckes zusammen.

Die verbrennenden Gase bewirken durch Expansion einen Arbeitsdruck auf die Kolben, die diese Kraft auf die Kurbelachse übertragen und sie in Drehung versetzen.

Digitized by Google

Die Cylinder des Motors werden durch die Verbrennung der Gase in hohem Grade erhitzt und müssen deshalb künstlich ausgiebig gekühlt werden. Zu diesem Zwecke sind sie mit Wasserkammern umgeben, in welchen das erwärmte Wasser stets durch kühles ersetzt werden muss.

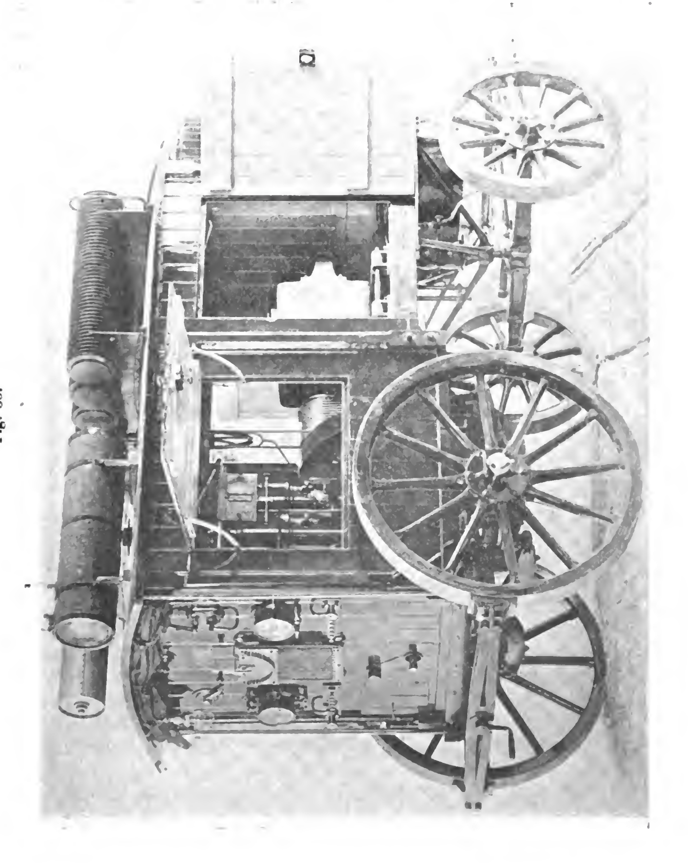


Fig. 35.

Digitized by Google

Das hiezu nötige Wasser wird in Rippenkühlgefässen mitgeführt, von denen das Hauptkühlgefäss ausserhalb des Kastens über dem Vordergestelle des Wagens angebracht ist, während weitere Behälter sich auf dem Dache des Wagens befinden. Das Hauptkühlgefäss ist senkrecht von einer grossen Anzahl Metallröhren durchzogen, welche der Luft behufs Kühlung Durchzug gewähren; ausserdem werden diese Röhren mittels einer Brause mit Wasser besprengt, welches beim Verdampfen der Umgebung Wärme entzieht und somit die Kühlung verstärkt.

Die Kühlung der Cylinder erfolgt nun in der Weise, dass eine vom Motor selbst angetriebene Pumpe aus dem Hauptkühlgefässe Wasser ansaugt und in die die Cylinder umgebenden Kühlmäntel drückt, von wo aus das erwärmte Wasser wieder dem Kühlgefäss zugeführt wird. Das zum Besprengen dieses Gefässes benützte Wasser wird aus den auf dem Dache befindlichen Behältern entnommen, in einem trichterförmigen Sammelbecken aufgefangen und durch eine zweite Pumpe nach dem Dache zurückgeführt, um von hier wieder nach der Brause zu gelangen. Das am Hauptkühlgefäss durch Verdampfen verloren gegangene Sprengwasser wird aus einem im Innern des Wagenkastens aufgestellten Vorratsbehälter entnommen.

Die auf dem Wagen mitgeführten Benzin- und Wasservorräte reichen für einen siebenstündigen Betrieb aus.

Auf dem Dache des Wagens befindet sich noch ein Schalldämpfer, welcher bestimmt ist, das durch den Auspuff verursachte Geräusch zu mildern.

Die Rückwand des Wagenkastens ist zu einem Schaltbrette ausgebildet, auf welchem ein Nebenschlussregulator, ein Strom- und ein Spannungsmesser, sowie die Anschlussklemmen Platz gefunden haben.

Die Dynamo ergibt bei 900 Umdrehungen in der Minute 5600 Watt.

Das Gewicht des Wagens beträgt einschliesslich Wasser und Benzin für einen siebenstündigen Betrieb ca. 3200 kg, ohne Wasser und Benzin 2800 kg.

Wenn in Anbetracht der geringeren Leistung die Gewichtsverminderung nicht bedeutend genannt werden kann, so besitzt der Wagen dem Dampfwagen gegenüber den grossen Vorteil, dass er leicht in gefülltem Zustande gefahren werden kann und innerhalb weniger Minuten betriebsfertig ist, dass er ausserdem auch an Orten zu verwenden ist, wo Wasser nicht zur Verfügung steht, da er solches stets mitführen kann.

Dem Benzinwagen wird der Vorwurf gemacht, dass er eines Brennmateriales bedürfe, das nicht überall zur Verfügung steht, be-

Digitized by Google

sonders nicht in Feindesland. Wenn nun aber der Bedarf gegeben ist, so würde man sich wohl auch damit abfinden, Benzin in genügender Menge mitzuführen. Dem Petroleummotor gegenüber hat der Benzinmotor immer noch den Vorzug, dass ein Absatz von festen Verbrennungsrückständen in viel geringerem Masse auftritt. Gleichwohl ist nicht zu verkennen, dass bei den grossen Fortschritten im Bau von Petroleummotoren diesen als Motoren für Beleuchtungswagen die Zukunft gehört.

Beleuchtungswagen mit Petroleummotor.

Fig. 36 stellt ein von der Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals Schuckert & Co. konstruiertes Fahrzeug mit einem Petroleummotor, System Daimler, dar, welches allen billigen Anforderungen gerecht werden dürfte.

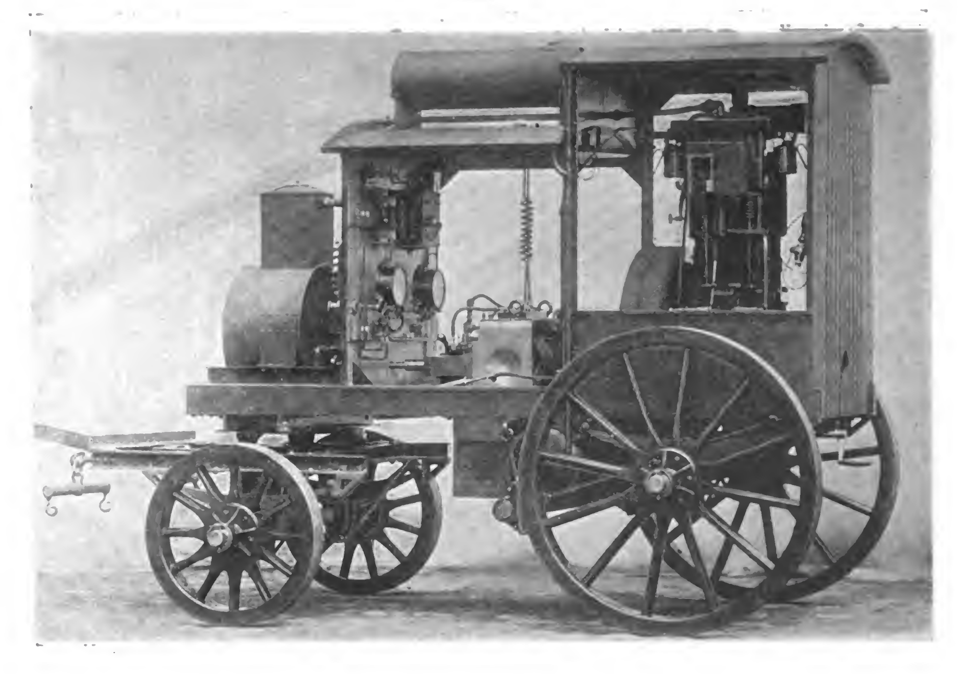
Der Aufbau des Wagens entspricht im wesentlichen dem des Benzinmotorwagens. Ueber den Hinterrädern befindet sich der Petroleummotor, der mit einer Dynamomaschine direkt gekuppelt ist. Eine Verlängerung der Dynamoachse betreibt den Ventilator einer Kühleinrichtung, welche über dem Vordergestell des Wagens Platz gefunden hat. Der Wagen ist auf den Stirnseiten mit Bretterwänden versehen, während er auf den Seiten durch untereinander vertauschbare Segeltuchschiebethüren (in der Abbildung weggelassen) abgeschlossen ist; das aus gewölbtem Blech hergestellte Dach trägt oben den Schalldämpfer für den Auspuff des Motors. Die vordere Holzwand ist als Schaltbrett ausgebildet und enthält die gleichen Apparate, wie die vorbeschriebenen Wagen. Unter dem Wagenrahmen zwischen Motor und Dynamomaschine ist der Petroleumbehälter untergebracht.

Der Petroleummotor arbeitet mit zwei Cylindern und leistet bei 500 Umdrehungen in der Minute 12 Pferdekräfte.

Die Bildung des zum Betriebe nötigen Gasgemenges vollzieht sich selbstthätig in der Weise, dass beim Niedergang des Kolbens sowohl Luft, als auch flüssiges Petroleum gleichzeitig angesaugt werden. Durch den am Motor selbst angebrachten Vergaser, welcher vor der Inbetriebsetzung durch zwei Gebläselampen angewärmt wird und während des Betriebes durch die heizende Wirkung des Auspuffes auf höherer Temperatur erhalten bleibt, wird das Petroleum in Gas verwandelt, welches dann mit Luft vermengt das brennbare, explosive Gasgemisch gibt. Beim höchsten Kolbenstand, also im Zustand des höchsten Druckes kommt das Gasgemisch mit Hilfe des von aussen glühend erhaltenen

Digitized by Google

Fig. 36.



Digitized by Google

Zündhutes zur Explosion, wodurch der Kolben wieder abwärts getrieben wird. Die durch Expansion der verbrennenden Gase erzeugte Kraft wird in üblicher Weise auf die Kurbelwelle übertragen. Beim zweiten Hinaufgehen des Kolbens werden die verbrannten Gase durch die Auspuffventile in den Schalldämpfer und von da ins Freie geleitet, worauf sich der ganze Vorgang wiederholt. Auch bei diesem Motor ist der Verbrennungsraum des Cylinders mit einem Kühlmantel umgeben und dadurch ist ein Kühlraum geschaffen, durch welchen mittels einer Centrifugalpumpe Kühlwasser gedrückt wird. Das erwärmte Kühlwasser wird in dem über dem Vordergestell befindlichen Kühlgefäss, durchsetzt mit vielen Metallröhren, durch welche mit Hilfe des eingangs erwähnten Ventilators grosse Mengen von Luft gesaugt werden, wieder abgekühlt, um aufs neue zur Cylinderkühlung benützt zu werden.

Die direkt gekuppelte Dynamomaschine leistet bei 500 Umdrehungen in der Minute 7200 Watt. Der ganze Wagen hat einschliesslich Petroleum und Wasser für einen siebenstündigen Betrieb ein Gewicht von 2600 kg; es ist somit gegenüber dem Beleuchtungswagen mit Dampfturbine, der die gleiche Leistung gibt, ein bedeutender Fortschritt erzielt.

Schlussbemerkung.

Nachdem im vorausgehenden die Mittel zur Fernbeleuchtung behandelt wurden, wäre hier wohl der Platz zur Erörterung der Frage, wie sich die Einrichtungen in den letzten Kriegen bewährt haben. Leider sind hierüber wenig Mitteilungen an die Oeffentlichkeit gelangt. In Massauah 1888 und Marokko 1894 sollen günstige Erfolge erzielt worden sein (siehe K. Exler, „Die elektrische Vorfeldbeleuchtung", S. 5). Auch im chinesisch-japanischen Kriege sind Scheinwerfer auf beiden Seiten verwendet worden. Die Japaner hatten auch das kleinste Modell der von der Firma Schuckert & Co. gebauten Beleuchtungswagen mit Dampfbetrieb in Verbindung mit einem kleinen Scheinwerfer im Feldkriege benützt und sollen damit gute Erfahrungen gemacht haben. In allen diesen Fällen war es aber nur eine geringe Zahl von Apparaten, die zur Verfügung standen; doch verdient die Thatsache Erwähnung, dass Nachfrage und Verwendung von Scheinwerfern nach diesem Kriege eine erhebliche Steigerung erfuhren.

Auch im spanisch-amerikanischen Kriege wurde öfter über die Thätigkeit der Scheinwerfer berichtet; ein Urteil über den Verteidigungswert derselben steht noch aus. Jedenfalls hat man von Küstenbeleuchtungsapparaten wenig gehört.

Digitized by Google

Bei Flottenmanövern spielt die Aussenbordbeleuchtung eine grosse Rolle. Bei planmässiger kaltblütiger Anwendung der Scheinwerfer dürfte es Torpedobooten schwer werden, ihr Ziel zu erreichen. Nur Uebereifer in der Verfolgung der ersten Angreifer wird es einem folgenden Torpedoboote unter Umständen möglich machen, mit Erfolg vorzugehen.

Der wirkliche Wert des Scheinwerferlichtes kann erst im Ernstfalle, wenn gleich gut ausgerüstete Gegner sich gegenüberstehen, festgestellt werden.

Auf diese Entscheidung warten wir gerne noch recht lange und begnügen uns vorläufig mit den Schlüssen, die aus den Uebungen der Flotten gezogen werden können. Danach möchte heute wohl kein Schiffskommandant das Scheinwerferlicht missen, wenn es auch die grosse Zahl von Hilfsapparaten an Bord noch um einige weitere vermehrt.

Digitized by Google

Die bisherigen Versuche mit elektrischen Zugtelegraphen.

Von

Oberingenieur **L. Kohlfürst,**

Kaplitz bei Budweis.

Mit 12 Abbildungen.

Mit dem Namen Zugtelegraphen werden im allgemeinen jene Einrichtungen bezeichnet, deren Zweck es ist, eine Nachrichtengebung zwischen den auf einem und demselben Schienenstrange verkehrenden Eisenbahnzügen — untereinander — oder zwischen den Zügen und den Stationen oder sonstigen Stellen der Bahnstrecke zu ermöglichen. Das Kriterium der Zugtelegraphen besteht in der Füglichkeit, an den Zügen während der Fahrt mit Hilfe eigener Zeichenapparate aus der Ferne Nachrichten zu empfangen; Anordnungen, welche bloss die Abgabe von Nachrichten seitens der auf der Fahrt begriffenen Züge an die Stationen oder an verschiedene bestimmte Stellen ermöglichen, gehören nicht hieher.

Unter den Zugtelegrapheneinrichtungen gibt es solche, bei welchen auf den Zügen lediglich der Empfang, und solche, bei welchen nebstdem die Abgabe von Nachrichten vorgesehen ist. Eine zweite Scheidung ergibt sich aus dem Umstande, dass ein Teil der elektrischen Zugtelegraphen hinsichtlich der von den Zügen zu empfangenden Nachrichten sich lediglich auf gewisse, aus beständig wiederkehrenden Eisenbahnbetriebsvorgängen hervorgehende Weisungen beschränkt, die durch einfache Zeichen, Signale, darstellbar sind, während eine zweite Gattung, welche man wohl die „eigentlichen Zugtelegraphen" oder die „Zugtelegraphie im engeren Sinne" nennen könnte, den Austausch umfänglicher Nachrichten von ganz beliebigem Inhalte gestatten. Es darf gewiss als besonders bemerkenswert gelten, dass die Idee der magnet-elektrischen Zugtelegraphie bereits zu Tage trat, als die ganze

Digitized by Google

elektrische Telegraphie sozusagen noch in den Kinderschuhen stand und überhaupt erst 2 Jahre früher den Eisenbahnen dienstbar geworden war. Die Verkehrsverhältnisse der englischen Bahnen hatten sich damals, nämlich an der Schwelle der vierziger Jahre unseres Jahrhunderts, bereits ganz stattlich zu entwickeln begonnen; die Anzahl der Züge vermehrte sich, die Zuggeschwindigkeiten mussten erhöht werden, und Hand in Hand damit ging selbstverständlich die Entwickelung des Signalwesens. Es fehlte sonach nicht an unliebsamen Erfahrungen darüber, dass die sichtbaren Signale bei Nebel, Schneesturm, schweren Gewitterregen, Rauch oder Staub an Deutlichkeit mehr oder minder einbüssen, dass während der Dunkelheit Signallampen verlöschen, oder dass sie zu spät angezündet werden können, oder dass das Lokomotivpersonal zufolge Ablenkungen, welche irgend eine sich nötig erweisende, anderweitige Dienstverrichtung mit sich bringt, ein Signal nicht rechtzeitig wahrnimmt. Hiegegen kannte man hörbare Signale, durch welche die sichtbaren angemessen ergänzt und unterstützt werden sollten, namentlich die Knallsignale noch nicht, sondern letztere haben erst im Jahre 1845 seitens der London-Birmingham-Bahn zuerst[1]) Verwendung gefunden. Während sich demzufolge und in Anbetracht der damals noch geringen Vollkommenheit der Signalvorrichtungen die Schwächen der sichtbaren Signale weit lebhafter geltend machten als heutzutage, war andererseits durch die 1839 auf der Great-Western-Bahn stattgehabte erfolgreiche Einführung eines elektrischen Telegraphen, sowie insbesondere durch die 1841 erfolgte Errichtung einer ähnlichen, auf der London-Blackwall-Bahn die Zugdeckung glänzend durchführenden Anlage die Hoffnungen auf eine allumfassende Anwendung der Elektricität im Nachrichten- und Sicherungswesen der Eisenbahnen in einem Masse geweckt worden, dass selbst ruhiger denkende Fachleute von dem neuen Hilfsmittel eine völlige Umwälzung der bis dahin bestandenen Eisenbahnbetriebsform[2]) erwarteten. Diese enthusiastischen Voraussetzungen, welche sich allerdings erst späterhin und nur allmählich in wesentlich anderer Art und Weise erfüllt haben, erklärte es, wieso in England zu einer Zeit bereits Zugtelegraphen geplant wurden, wo am europäischen Kontinente elektrische Eisenbahntelegraphen überhaupt noch gar nicht in Verwendung standen.

---

[1]) Vergl. M. M. Freiherr v. Weber, Das Telegraphen- und Signalwesen der Eisenbahnen, Weimar 1867, p. 120.

[2]) Vergl. W. F. Cooke, Telegraphie Railroads, London 1842.

Digitized by Google

Die erste Idee eines Zugtelegraphen fällt nämlich in das Jahr 1841 und rührte von Alexander Bain und Thomas Wright her, welche bei ihrer Erfindung der damals auf den meisten englischen Bahnen herrschenden Gepflogenheit, den Zügen sogenannte „Lotsenmaschinen" vorauszuschicken, Rechnung trugen. Nach der im Patente vom 21. Dezember des bezeichneten Jahres angeführten Beschreibung sollten zwischen den beiden Schienensträngen des Eisenbahngleises auf die Schwellen längs der ganzen Strecke zwei schienenförmige Stromleiter gelegt werden, auf welche zwei federnde Stempel von der Zuglokomotive und zwei ähnliche Stempel von der beiläufig eine englische Meile vorausfahrenden Lotsenlokomotive herabreichen. Auf der letzteren sollte der Stromweg einer mitgeführten Batterie durch den Kugelregulator der Lokomotive und zu den schleifenden Stempeln geführt sein, während auf der Zuglokomotive zwischen den beiden Kontaktstempeln ein aus einer Drahtspule, einem Magnetstab und einem Laufwerk bestehender Zeichenapparat eingeschaltet werden sollte. Solange die Lotsenlokomotive sich bewegte, wäre die Leitung durch die Kugeln des Regulators unterbrochen; fände die Lokomotive jedoch ein Hindernis, demzufolge die Fahrt eingestellt werden müsste, dann hätte der niedergehende Regulator den Stromschluss herzustellen, demzufolge auf der Zuglokomotive der Magnetstab abgelenkt und das Laufwerk ausgelöst werden sollte, welch letzteres die Aufgabe hatte, die Dampfpfeife auszulösen. Bis zu einem praktischen Versuche ist das Bain-Wrightsche Projekt nicht gediehen, es bildet jedoch den Ausgangspunkt für eine grosse Reihe verwandter Entwürfe, Vorschläge oder Ausführungen, die seither bis in die jüngsten Tage immer wieder auftauchen und deren wesentlichste Vertreter nachstehend des näheren in Betracht gezogen werden sollen. Letzteren Falls wird es zweckdienlich sein, im allgemeinen thunlichst die chronologische Ordnung einzuhalten, dabei aber die oben angegebene natürliche Gruppenteilung vorzunehmen und jene Einrichtungen, welche bloss Signale vermitteln, in die Vorderreihe zu stellen, weil sie, wenn auch die jüngeren, so doch die einfacheren sind.

A. Elektrische Zugtelegraphen, welche bloss Signale vermitteln. Bevor einzelne Beispiele von Einrichtungen dieser Gattung näher besprochen werden, bleibt zu erinnern, dass für sie alle der „Empfang von Nachrichten seitens der Eisenbahnzüge während der Fahrt" die charakteristische Grundlage bildet, dass jedoch im Hinblick auf den Zweck, welcher der Nachrichtengebung zu Grunde liegt, keineswegs sämtliche Anordnungen übereinstimmen, wenngleich sie

Digitized by Google

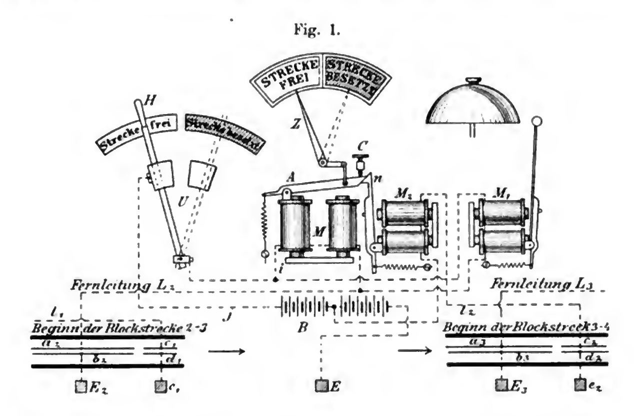
vorwiegend bestimmt sind, für die Zugdeckung bezw. als Blocksignal zu dienen. Hinsichtlich der letztgedachten, als Blocksignale verwendeten Zugtelegraphen mag ferner gleich hier anschliessend — um spätere Wiederholungen vermeiden zu können — darauf aufmerksam gemacht werden, dass bei denselben in der Regel eine doppelgleisige Bahn vorausgesetzt ist, und dass die für das rechtsseitige oder linksseitige Gleis in Betracht gezogene Einrichtung immer auch für das zweite Gleis in ganz gleicher Anordnung vorhanden sein muss, wenngleich — selbstverständlich durch Umwendung — der verkehrten Zugrichtung angepasst. Falls eine dieser Blocksignaleinrichtungen ausnahmsweise für die Verwendung auf eingleisigen Eisenbahnen bestimmt sein sollte, dann wird dieser Umstand stets besonders hervorgehoben werden.

Die älteste und — wie nicht versäumt werden darf, hervorzuheben — eine der durchdachtesten der zur Gruppe A gehörigen Anordnungen ist ein Zugtelegraph von Tyer, welcher die in Entfernungen von je einer englischen Meile auf der Bahnstrecke errichteten Signalwärterposten (Blockposten) in den Stand setzte, jedem einzelnen Zug direkt bekannt zu geben, ob die Bahn frei ist oder nicht. Auch erhielten die Blockposten eine Rückmeldung, welche ihnen den richtigen Empfang der an die Züge abgegebenen Nachrichten bestätigte. Zu diesem Ende waren bei jedem Blockposten je zwei, 6 m lange, auf gefirnissten Querhölzern befestigte Kupferstreifen a_1, a_2, a_3 . . . und b_1, b_2, b_3 . . . (Fig. 1) im Gleise vorhanden, auf welchen während der Vorbeifahrt des Zuges zwei auf der Lokomotive angebrachte federnde Bügel als Stromabnehmer schleiften. Eine dieser beiden Leitungen, nämlich b_1, b_2, b_3 . . ., diente lediglich als Erdanschluss, die andere hiegegen war durch eine Drahtleitung L_1, L_2, L_3 . . . mit den Signalapparaten des am Ende der Blockstrecke befindlichen Blockpostens und einer daselbst aufgestellten Batterie B verbunden, und dann gleichfalls an Erde E gelegt. Die Signalapparate des Blockpostens bestanden aus zwei parallel in den Schliessungskreis geschalteten Elektromagneten M und M_1, wovon der Anker des ersteren in der abgerissenen Lage das Signal „Strecke frei" und in der angezogenen Lage das Zeichen „Strecke besetzt" darstellte; hiegegen gab der zweite Elektromagnet hörbare Zeichen, indem sein klöppelförmiger Anker bei jeder Anziehung an eine Glocke schlug. Ausserdem war noch ein dritter Elektromagnet M_2 vorhanden, dessen Anker die Aufgabe hatte, mit einer Nase n den Anker A bei jedesmaliger Erregung von M in der angezogenen Lage festzuhalten, auch wenn M wieder stromlos geworden. Ausserdem be-

Digitized by Google

fand sich am Blockposten nur noch ein Stromschliesser U, mit dem der Signalwärter die Batterie ein- oder ausschalten konnte, und die beiden Schalthebelstellungen trugen gleichfalls die Aufschrift „Strecke frei“ bezw. „Strecke besetzt“. Auf den Zuglokomotiven waren zwischen den schon früher erwähnten zwei Stromabnehmern ebenfalls zwei zeichengebende Elektromagnete eingeschaltet, wovon der Anker des ersteren bei abgerissener Lage im Fensterausschnitte eines am Führerstande angebrachten Signalkästchens ein r o t e s, in angezogener Lage ein w e i s s e s Scheibchen ersehen liess, was gleichbedeutend war mit H a l t und F r e i. Der Anker des zweiten Elektromagnetes gab bei jeder Anziehung ein Glockenzeichen und war späterhin auch zur Aus-

Fig. 1.



lösung einer besonderen Dampfpfeife eingerichtet; ein dritter, nicht in den Schliessungskreis der beiden zeichengebenden Apparate geschalteter Elektromagnet diente lediglich als Sperrvorrichtung für den Scheibchenapparat, ganz so wie M_2 für A auf den Blockposten. Solange kein Zug in der Blockstrecke vorhanden war, zeigte der Zeichenapparat am Blockpfosten auf „Strecke frei“, die Anker sämtlicher drei Elektromagnete blieben abgerissen und die Batterie B eingeschaltet, wie es Fig. 1 darstellt. Wenn unter diesen Verhältnissen ein Zug in die Strecke einfuhr, verband er durch die Stromabnehmer der Lokomotive über seine Signalapparate die Stromleitung zur Erde, weshalb auf der Maschine ein Glockenzeichen erfolgte und der Scheibchen-

Digitized by Google

apparat Weiss zeigte, so dass der Maschinenführer wusste, die begonnene Strecke sei unbesetzt. Desgleichen erfolgte am zugehörigen Blockposten das Glockenzeichen und das Signal „Strecke besetzt", demzufolge der Signalwärter den Batterieschalthebel H gleichfalls auf „Strecke besetzt" umlegte, d. h. den Batterieanschluss unterbrach. Ein nachfahrender Zug konnte sonach beim Eintritt in die Strecke keinen Stromschluss herbeiführen, also auch kein Freisignal erhalten; er musste den diesfälligen Bestimmungen gemäss vorerst stehen bleiben und durfte dann seine Fahrt nur langsam mit äusserster Vorsicht fortsetzen, bis er zum Hindernisse vordrang oder bei einem nächsten Blockposten das Signal „Strecke frei" erhielt. Der Signalwärter durfte den Schalthebel jedoch unbedingt erst dann wieder auf „Strecke frei" stellen, wenn sein Zeichenapparat dieses Signal zeigte, und letzteres war nur möglich, wenn durch Thätigwerden des Elektromagnetes M_2 A von n losgelassen wurde. Diese Rückstellung erfolgte gleichzeitig mit der Aufhebung der Sperre an dem Lokomotivzeichenapparate und wieder durch Vermittlung des Zuges selbst, sobald er mit einem zweiten Paare von Stromabnehmern, das an der Lokomotive angebracht war, zwei entsprechend weit hinter dem Blockposten ins Gleis eingelegte kurze Kontaktschienen c_1, c_2, c_3 . . . und d_1, d_2, d_3 . . . überfuhr, von welchen die eine (d_1, d_2, d_3 . . .) Erdschluss besass, während die andere (c_1, c_2, c_3 . . .) durch eine Leitung l_1, l_2, l_3 . . . mit den betreffenden Elektromagneten M_2 verbunden war. Nachdem auf diese Weise beim Signalwärter „Strecke frei" einlangte, stellte er auch wieder den Batteriehebel auf „Strecke frei" und ein nächster Zug durfte somit wieder nachrücken. Diese bereits 1851 erfundene Anordnung war einige Zeit hindurch auf der Bahnstrecke London-Dover nicht ohne Erfolg in Verwendung, wurde aber schon nächsten Jahres durch die bekannte Tyersche Blocksignaleinrichtung, bei der die Signalwärter mit Hilfe sichtbarer Streckensignale die Zugfolge regeln, ersetzt [1]). Bemerkenswert ist es, dass die Tyersche sinnreiche Sperrung eines Elektromagnetankers durch einen zweiten bei mehreren ganz modernen Eisenbahnsignaleinrichtungen, wie beispielsweise bei den Hallschen [2]) und bei den Hattemerschen [3]) Annäherungs-(Ueberweg-)Signalen, wieder vorteilhafte Verwertung gefunden hat.

---

[1]) Vergl. Glösener, Traité général des applications des l'électricité, Paris und Lüttich 1861, 1. p. 306.

[2]) Centralblatt der Bauverwaltung 1890, p. 372.

[3]) Dinglers Polytechn. Journal 1895, **298**, p. 110 und 1897, **306**, p. 117.



Digitized by Google

Im Jahre 1853 sind auf der spanischen Eisenbahn Madrid-Aranjuez Versuche mit einem von Manuel Fernando de Castro erdachten Signaleinrichtung gemacht worden, deren Wesenheit darin bestand, dass auf den Zuglokomotiven, gleichgiltig, ob sie sich folgten oder entgegenfuhren, ein Lärmwecker ausgelöst wurde, sobald sich zwei Züge auf eine bestimmte Entfernung nahe kamen. Jede Lokomotive hatte ein Relais und eine Batterie, die hintereinander geschaltet einerseits an einen Stromabnehmer angeschlossen, andererseits an Erde gelegt waren; das Relais hatte den Lärmwecker der Lokomotive durch Schliessung eines Ortsstromes thätig zu machen. Der Stromabnehmer war vorne an der Brust der Lokomotive als ein seitlich vorstehender, federnder Arm angebracht und berührte stetig eine längs der Bahnstrecke vorhandene Stromleitung, welche etwa 1 m höher als die Schienen des Gleises neben demselben auf Pflöcken isoliert befestigt war. Diese Leitung war zweiteilig und bestand aus stehenden Blechstreifen a_1, a_2, a_3 . . . und b_1, b_2, b_3 . . . (Fig. 2) von je 1 km Länge,

Fig. 2.

die sich von Mitte zu Mitte übergriffen. Eine Auslösung des Lärmweckers erfolgte sonach, sobald sich die Züge auf einen halben Kilometer näherten, in welchem Falle die Lokomotiveinrichtungen, die Leitung und Erde einen geschlossenen Stromkreis bildeten. Um dieselbe Einrichtung auch für eingleisige Bahnen auszunützen, brachte De Castro an den Lokomotiven einen Batterieumschalter an, mit dem die der Fahrtrichtung entsprechenden Polanschlüsse der Batterie bewirkt wurden, damit sich die Batterieströme zweier entgegenfahrenden Züge gleichfalls addierten und nicht aufhoben. De Castro beschreibt seinen Zugtelegraphen in einem Schriftchen „L'électricité et les chemins de fer“, Paris 1859, lässt darin aber unerörtert, wie zwei Züge, welche sich zu nahe kommen und demzufolge beide gleichzeitig das nämliche Warnungssignal erhalten, darüber klar werden, ob sich der in gefahrdrohende Nähe geratene Zug vorne oder rückwärts befindet.

Ein Jahr später entwarf Kapitän Guyard [1]) eine Anordnung, welche mit der eben geschilderten im wesentlichen ganz übereinstimmte,

[1]) Vergl. Du Moncel, Exposé des applications de l'électricité. 5. Aufl., 5, p. 23.

Digitized by Google

und die gleich der De Castroschen ebensowenig zur Anwendung gelangte, als eine im Jahre 1854 von Carr & Barlow [1]) erdachte Einrichtung verwandter Art. Gleichfalls als totgeborene, für die selbstthätige Zugdeckung geplante Zugtelegraphen [2]) wären dann noch anzuführen jene von Abbé Magnat, Coghland, Chrestin, Cheneusac (1854), Erkmann (1855), Reville-Dumoulin, Gay, Mat, Peudefer, Scias (1856), Lafollye (1857) und noch viele andere. Allein der Grund, warum alle diese Erfindungen trotz ihrer vielversprechenden Programme es nicht einmal zu praktischen Versuchen gebracht haben, lag damals nicht etwa lediglich in der klaren Erkenntnis an den massgebenden Stellen, dass die vorgeschlagenen Einrichtungen entweder überhaupt unausführbar oder unzweckmässig seien, oder dass es unmöglich sei, sie dauernd in tadellosem Betrieb zu erhalten, sondern vorwiegend in wirtschaftlichen Bedenken. In der fraglichen Zeit besassen ja die Eisenbahnverwaltungen im allgemeinen noch einen ausgesprochenen Widerwillen, irgendwie nennenswertere Geldopfer für Zugsicherungseinrichtungen, soweit diese nicht in Besserungen des Oberbaues oder der Bahnbewachung bestanden, aufzuwenden, und liessen sich hierin alles unter zäher Abwehr erst durch wiederholte schwere Unfälle abringen. Wie sollte man sich zu wirklich kostspieligen und hinsichtlich des Erfolges durchaus ungewissen Experimenten bereit finden? Diese Fragwürdigkeit des Wertes der Zugtelegraphen war in der That damals noch ungleich grösser als heutigen Tages, denn man hatte nicht einmal für ihren Betrieb geeignete Elektrizitätsquellen zur Verfügung. Die durchdachtesten, sinnreichsten Anordnungen — und es gab ja auch solche unter den angeführten Systemen — mussten also schon an der Unzulänglichkeit der Hilfsmittel ihren Wert völlig einbüssen.

Nur der letzte zur oben angeführten Reihe gehörende, von E. Vincenzi [3]) erdachte Zugtelegraph hatte es wieder bis zu praktischen Versuchen gebracht, welche im Jahre 1861 auf der Bahnlinie Florenz-Adrezzo stattfanden und in der Gruppe B nochmals Erwähnung finden.

Von da an erfuhr der Erfindungseifer auf einschlägigem Gebiete, nachdem sich die namentlich in betreff der Durchführung einer vollkommen verlässlichen, räumlichen Zugdeckung auf die Zugtelegraphen gesetzten Hoffnungen nicht erfüllen wollten, eine begreifliche Erkältung, und es finden sich einschlägige Entwürfe — wenige in der zweiten Gruppe erwähnte ausgenommen — anscheinend erst wieder zu Beginn

[1]) Vergl. Society of Telegraph Engineers 2, p. 251 u. 265.

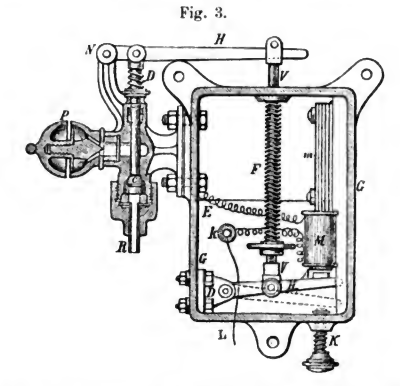
[2]) Vergl. E. Schmitt, Das Signalwesen, p. 354.

[3]) Vergl. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 2, p. 268.

Digitized by Google

der siebziger Jahre. Zu dieser Zeit hatte Lartigue, damals Telegraphenchef der französischen Nordbahn, Tyers Idee, dem auf der Fahrt begriffenen Zuge durch selbstthätiges Wirksamwerden der Lokomotivpfeife das Warnungssignal zu geben und diese Auslösung der Dampfpfeife im elektrischen Wege vollziehen zu lassen (vergl. S. 459), wieder neu aufgenommen. Die von Lartigue gemeinschaftlich mit Forrest konstruierte, von der Firma Digney frères in Paris ausgeführte elektrische Dampfpfeife [1] (Fig. 3) gleicht einer gewöhnlichen solchen Vorrichtung, welche ertönt, sobald durch ein Niederziehen des um den Zapfen N drehbaren Hebels H die Ventilstange D nach abwärts gedrückt und auf diese Weise dem Dampf

Fig. 3.



der Weg aus dem Einströmungsrohr R zur Pfeife P am Ventil c freigemacht wird. Während der Ruhelage ist jedoch H durch den Hebel H_1 und die beiderseits angelenkte Verbindungsstange V V dauernd hochgehoben, weil der an H_1 festsitzende, aus einem Stahlstab hergestellte Anker A von dem kräftigen Hughesschen Magnete M festgehalten wird. Letzterer besteht aus einer Anzahl aneinander gelegter, kräftiger Hufeisenmagnete m, deren beide Schenkel am Polende in Schuhen aus weichem Eisen zusammengefasst werden; letztere sind zu cylindrischen Kernen ausgearbeitet, auf welchen, wie bei gewöhnlichen Elektromagneten, die Drahtspulen M sitzen. Der den Polschuhen von den Stahlmagneten mitgeteilte Magnetismus wirkt sehr kräftig auf den

[1]) Vergl. Dr. E. Schmitt, Das Signalwesen, Prag 1878, p. 572.

Digitized by Google

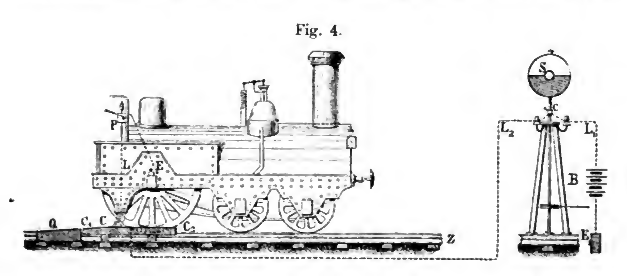
mit den ungleichnamigen Polen vorgelegten Anker A und hält ihn in der Ruhelage der Dampfpfeife, welche Fig. 3 ersichtlich macht, fest. Nimmt jedoch ein elektrischer Strom durch die Spulen in jener Richtung seinen Weg, welche hinsichtlich ihrer magnetisierenden Wirkung dem Sinne der vorhandenen Polarität des Magnetes M entgegengesetzt ist, so hört die Anziehung des Ankers auf, und dieselbe wird, wenn der betreffende Strom genügend stark ist, in Abstossung umgewandelt. Es kann daher die um V V gewickelte Wurmfeder F in Wirksamkeit treten und den Hebel H_1 in die durch gestrichelte Linien bezeichnete Lage hinabschnellen, wodurch die Dampfpfeife thätig gemacht wird. Das Rückstellen der Pfeife muss der Lokomotivführer mit der Hand ausführen, indem er den Knopf K nach aufwärts drückt und hiedurch das vordere Ende von H_1 dem Magnete M so nahe bringt, dass der Anker A wieder daselbst festgehalten bleibt, vorausgesetzt, dass die Spulen des Hughesschen Elektromagnetes bereits stromlos sind. Lartigue liess sich gar nicht erst in Versuche ein, seinen Zeichenapparat für die Zwecke unmittelbarer Zugdeckung zu verwerten, sondern beschränkte sich darauf, ihn lediglich als Ergänzung zu ständigen, sichtbaren Streckensignalen in der Form eines Vorsignals auszunützen. Nach vorausgegangener längerer und sorgfältiger Prüfung der elektrischen Lokomotivpfeife hatte sich nämlich im Jahre 1874 die französische Nordbahn bestimmt gefunden, vorerst ihre schnellfahrenden Züge damit auszurüsten und allen zur Deckung von Bahnhöfen oder sonstigen wichtigen Punkten der Bahn aufgestellten Signalscheiben (Wendescheiben) eine Einrichtung zu geben, vermöge welcher an den Lokomotiven bei Annäherung an diese Deckungssignale die Lartiguesche Pfeife ausgelöst wird, wenn die Signalscheibe auf „Verbot der Fahrt“ gestellt ist, hingegen stumm bleibt, im Falle letztere auf „Erlaubte Fahrt“ steht. Auf diese Weise sollte die Möglichkeit, dass gewisse wichtige sichtbare Haltsignale aus irgend welchen Gründen nicht oder verspätet wahrgenommen und überfahren würden, vollständig ausgeschlossen werden. Die Einfachheit dieser Einrichtung[1]) erhellt aus Fig. 4, in der bei Q, C_1, C_2 die Stelle angedeutet erscheint, an welcher die Pfeifenauslösung erfolgt, während S die Wendescheibe darstellt, deren Haltsignalzeichen auf der Lokomotive durch die Dampfpfeife P ergänzt werden soll. Es ist behufs dessen das eine Ende E der Spulen des Pfeifenelektromagnetes M (Fig. 3) mit dem Metallkörper der

[1]) Vergl. L. Kohlfürst, Die elektrischen Einrichtungen der Eisenbahnen, Wien 1883, p. 146.

Digitized by Google

Lokomotive verbunden, also durch die weitere Vermittlung der Räder der Maschine und der Schienen des Eisenbahngleises an Erde gelegt, während vom zweiten Spulenende ein isolierter Draht L zu einer am Lokomotivgestelle isoliert angebrachten Metalldrahtbürste C leitende Verbindung herstellt. Etwa 150 bis 200 m von dem sichtbaren Signal S befindet sich im Gleismittel ein sogenannter „Krokodilkontakt", welcher aus einer 2 m langen, hölzernen Längsschwelle C_1, C_2 besteht, deren obere Fläche mit Kupferblech bekleidet und mit einer zum Signal S führenden Leitung L_2 leitend verbunden ist. Die Längsschwelle wird von eisernen Fussgestellen getragen, die in kleinen Steinsockeln eingesetzt sind; vor C_1, C_2 liegt noch ein hölzernes, keilförmiges Anlaufstück Q. Die Leitung L_2 geht von C_1, C_2 zu einem an der Wendescheibe angebrachten Stromschliesser c und sodann als Leitung L_1 zu einer im nächsten Bahnwärterhause oder in der nächsten Station untergebrachten Batterie B und

Fig. 4.



schliesslich zur Erde E_1. Der Stromschliesser c ist so eingerichtet, dass er bei der Haltlage der Signalscheibe S, d. i. wenn dieselbe mit ihrer Fläche senkrecht zum Gleis steht, die beiden Anschlussleitungen L_1 und L_2 verbindet, diese Verbindung hingegen löst, wenn die Scheibe mit ihrer Fläche parallel zum Gleis, d. i. auf „Erlaubte Fahrt" gestellt ist. Nähert sich also ein Zug dem Signal, während dieses die erstgedachte Lage besitzt, dann wird, sobald die Lokomotive mit der Metallbürste über Q auf C_1, C_2 gelangt, der Strom der Batterie B in die Spule der Lartigueschen Dampfpfeife über L_1, c, L_2, C_1, C_2, C, P und Erde seinen Weg finden und die Auslösung des Apparates bewirken. Wie die Erfahrung beweist, genügt die bei den Expresszügen obwaltende Berührungsdauer zwischen der Drahtbürste C und dem Krokodilkontakt von nur 0,2 Sekunden vollständig, um die Auslösung stets pünktlich zu bewirken, und diese guten Erfahrungen der Nord-

Digitized by Google

bahn gaben Anlass, dass im Jahre 1876 der französische Minister für öffentliche Arbeiten die elektrische Lokomotivpfeife allen Eisenbahnverwaltungen zur Einführung empfahl. Besonders bemerkt zu werden verdient der Umstand, dass das Lartiguesche System zu Beginn der achtziger Jahre eine eigentümliche Erweiterung erfahren hat, insofern Delebecque und Bandarali[1]) mit dem obengeschilderten Vorsignal für „Halt" zugleich das thatsächliche Anhalten des Zuges verbanden. Die Genannten gaben nämlich der elektrischen Dampfpfeife einen zweiten, ganz ähnlichen Apparat bei, an welchem die Stange VV (Fig. 3) nach abwärts gekehrt ist, und beim Abreissen des Ankers an Stelle des Dampfpfeifenhebels H_1 den Hahn des zum Injektor der Smithschen Vakuumbremse führenden Dampfrohres öffnet, so dass die Bremse selbstthätig zur Wirksamkeit gelangt. Diese Anordnung wird übrigens nicht nur im Sinne der Fig. 4 vor Streckensignalen, wenn sie auf „Halt" stehen, sondern auch durch Vermittlung der auf den Zügen der französischen Nordbahn für die Reisenden und das Zugpersonal vorhandenen Prudhommeschen[2]) Notsignaleinrichtung angewendet. Mit elektrischen Dampfpfeifen und teilweise mit Bandaralis Bremsenauslösung waren im Jahre 1883 bereits 520 Lokomotiven der französischen Nordbahn ausgerüstet und gleichzeitig 606 Deckungssignalscheiben mit Krokodilkontakten versehen.

Was in Frankreich unterblieb, nämlich das Lartiguesche bewährte Lokomotivsignalmittel auch für die Zugdeckung zu verwerten, wurde in Italien durch den Professor der Universität Genua Giulio Ceradini durchzuführen versucht. Jede Lokomotive war mit zwei, in einem gemeinsamen Kästchen untergebrachten Lartigueschen Dampfpfeifen ungleichen Tones, der sogenannten Sicherheitspfeife und einer Achtungspfeife, versehen und führte für die letztere eine eigene Batterie mit sich. Die Bahnstrecke war nach gewöhnlicher Art in Blockstrecken eingeteilt und an jedem ihrer Abschlüsse (Bahnhofsgebäude oder Bahnwärterhaus) für jedes Gleis je eine Batterie und ein Zeichengeber vorhanden, welcher bei freier Bahn ein ganz weisses Feld, bei besetzter Strecke einen roten Stern sichtbar machte. Am Anfang jeder Blockstrecke lagen zwei Krokodilkontakte im Gleise, von welchen der eine, für die Sicherheitspfeife bestimmte, durch eine Tele-

[1]) Vergl. Elektrotechnische Zeitschrift vom Januar 1885, p. 23 und Kohlfürst, Die Fortentwickelung der elektrischen Eisenbahneinrichtungen, Wien 1891, p. 238.

[2]) Vergl. E. Brame, Étude sur les signaux des chemins de fer à double voie, Paris 1867, p. 148; Zetzsche, Handbuch der Telegraphie 4, p. 458.

Digitized by Google

graphenleitung mit dem Zeichenapparate des zugehörigen Blockpostens, der zweite, für die Achtungspfeife bestimmte, hingegen direkt mit einer Erdleitung verbunden war. Am Ende der Blockstrecke befand sich bloss ein Krokodilkontakt, der wieder durch einen Leitungsdraht mit dem obgedachten Zeichenapparat in Verbindung stand. Die Leitungen der aufeinanderfolgenden Blockstrecken übergriffen sich um 150 bis 200 m, so dass ein Zug bereits in die nächstfolgende Strecke eingefahren war, bevor er die durchfahrene verliess. Die Wirksamkeit der Ceradinischen Signaleinrichtung, welche im wesentlichen als eine Kombination des Lartigueschen[1]) und des Tyerschen Zugtelegraphen angesehen werden darf, lässt sich an der Hand der Fig. 1 ganz gut verfolgen, wenn man sich denkt, dass an Stelle des Handumschalters U ein Relaiskontakt am Elektromagneten M vorhanden sei, derart, dass die von der Batterie B zu U geführte Leitung j bei der Kontaktschraube C und der Leitungsdraht i beim Anker A angeschlossen wird, ferner dass die Streckenkontakte a_2 b_2, a_3 b_3 ... und c_1 d_1, c_2 d_2 ... Krokodilkontakte seien. Schliesslich ist allerdings zu der in Fig. 1 dargestellten Ausrüstung bei jedem der Einfahrtskontakte, wie a_2 b_2, a_3 b_3 ..., ein zweiter parallel liegender Krokodilkontakt noch hinzuzudenken. Fährt ein Zug in die Teilstrecke 2 bis 3 ein, ertönen beide Dampfpfeifen, und zwar die Achtungspfeife lediglich um die Einfahrtstelle zu bezeichnen, die Sicherheitspfeife hingegen als Signal, dass die Strecke frei ist. Die Auslösung der erstgenannten Pfeife erfolgt durch den Erdschluss des zugehörigen Krokodilkontaktes mit Hilfe der Lokomotivbatterie, jene der zweiten Pfeife vermöge der Batterie B, welche über M und L_2 in Schluss gelangte, wobei am Blockpostenapparate der Anker A angezogen und unter n gelegt wird, demzufolge hier das Zeichen für „Strecke besetzt" erscheint und zugleich der Ankerkontakt, d. i. die Verbindung zwischen der Batterie und dem Streckenkontakt a_2 b_2, aufgehört hat. Gelangt der Zug zu dem Endkontakt c_2 d_2, dann ertönt neuerdings die Sicherheitspfeife, und da der betreffende Auslösestrom der Batterie B über M_2 geht, fällt A in die normale Ruhelage für „Strecke frei" zurück, wodurch sich auch der Ankerkontakt wiederherstellt. Unter dieser Voraussetzung würden sonach bei der Einfahrt eines nachfolgenden Zuges gleichfalls beide Pfeifen ertönen, während vorher, ehe der voraufgegangene Zug über c_2 d_2 hinweggelangt ist, nur die Achtungspfeife allein ertönen könnte, was das Signal für „Strecke besetzt" bedeutet

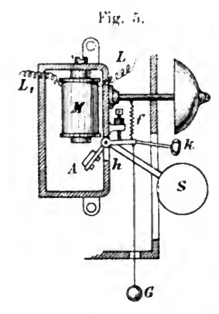
[1]) Vergl. La Lumière électrique 1879, I, p. 165.

Digitized by Google

und dem Lokomotivführer als Befehl gilt, seine Fahrt nur langsam und mit grösster Vorsicht fortzusetzen. Die ersten Versuche mit derartigen Zugtelegraphen erfolgten im Herbste 1879 auf der Bahnstrecke Genua-Spezia und sind befriedigend ausgefallen [1]). Ein paar Jahre später wurde das System auf der neuerbauten Pontebba-Bahn nochmals in Versuch genommen, doch scheint es weder hier noch dort zu einer dauernden Anwendung gekommen zu sein.

Fast zu derselben Zeit war in Amerika eine ganz ähnliche, von Puntnam [2]) angegebene Signaleinrichtung aufgetaucht, welche günstige Erfolge versprach, so dass sich auch die k. k. österreichischen Staatsbahnen über Einschreiten Baron Clemens v. Trotts zur Gestattung von Versuchen veranlasst fand, welche auf der Strecke Penzing-Hetzendorf nächst Wien mit ganz befriedigenden Ergebnissen stattgefunden haben. Der auf den Lokomotiven angebrachte Zeichenapparat bestand aus einem Elektromagneten M (Fig. 5), welcher bei stromdurchflossenen Spulen einen Anker A, der mit dem Klöppel k und den eine kleine Scheibe S tragenden Arm h steif verbunden war, festhielt. Bei dieser Ankerlage, welche die normale ist und dem Signal „Strecke frei" entspricht, kann S nicht gesehen werden, weil sie, durch den Spalt des Kästchens eingezogen, hinter der Kastenwand verborgen bleibt. Erfolgt jedoch eine Unterbrechung des durch M gehenden Stromes, dann fällt A vermöge des Zuges der Abreissfeder f ab, der Klöppel schlägt an die Glocke und die Scheibe S ist sichtbar geworden. Der Zeichenapparat hat also in diesem Falle die in Fig. 5 dargestellte Lage angenommen, was dem Lokomotivführer als Gefahrsignal gilt. Die Glockenschläge wiederholen sich fortlaufend zufolge der Lokomotivschwingungen, die sich auf den Klöppel k übertragen, da f nach aufwärts, das an der Rückstellschnur befestigte Gewichtchen G jedoch nach abwärts zieht, der Ankerhebel selbst aber in der gezeichneten Lage ausgewogen ist. Das eine Spulenende L schliesst an einen isolierten Draht, welcher die leitende Verbindung zu der am Lokomotiv-

Fig. 5.



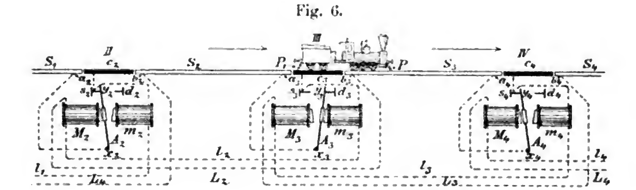
[1]) La Lumière électrique 1880, 2, p. 350.

[2]) Vergl. Zeitung des Vereines Deutscher Eisenbahnverwaltungen vom 10. September 1880; Oesterr. Eisenbahnzeitung 1882, Nr. 10.

Digitized by Google

gestelle isoliert angebrachten Metalldrahtbürste P (Fig. 6) herstellt; das zweite Spulenende L_1 (Fig. 5) steht hingegen mit der auf der Lokomotive mitgeführten Stromquelle (einer galvanischen Batterie oder auch einer von der Lokomotive bewegten magnetelektrischen oder Dynamomaschine) in Verbindung, deren zweiter Pol zu einer an dem Tender angebrachten Kontaktbürste P_1 (Fig. 6) anschliesst. Die beiden Kontaktbürsten sind so gestellt, dass sie auf einem der beiden Schienenstränge des Gleises hinstreifen. Was die Strecke anbelangt, so ist sie wieder in eine der Dichte des Zugverkehrs angemessene Anzahl Abschnitte von je 3 bis 5 km Länge geteilt und an jedem Teilungspunkte (Station oder Bahnwärterposten) mit besonderen Steuerungsapparaten (Doppelrelais) ausgerüstet; ausserdem ist in jenem Schienenstrange, auf welchem die Lokomotivbürsten schleifen, ein Stück des Stranges von etwa 2 bis 3 Schienenlängen von den Schwellen und von

Fig. 6.



den anstossenden Schienen durch nichtleitende Unterlags- und Zwischenplatten sorgfältigst isoliert. Diese Schienenstücke c_1, c_2, c_3, c_4 ... (Fig. 6) sind mit den Apparaten an den Blockposten durch Telegraphenleitungen in der Art verbunden, wie es die Abbildung ersehen lässt. Solange eine Lokomotive das zwischen je zwei isolierten Schienenstellen liegende Gleis befährt, wird der Signalapparat des Maschinenführers von einem Dauerstrom durchflossen sein, der jedoch in dem Momente aufhört, wo die vordere Kontaktbürste auf das isolierte Schienenstück gelangt. Dass dieser das Haltsignal hervorrufende Vorgang nur eintreten könne, wenn die Strecke besetzt ist, nicht aber auch, wenn sie frei ist, gehört zur Aufgabe des Blockpostenapparates. In der That vermittelt der zwischen den beiden Elektromagneten M und m liegende Anker stets einen Nebenweg für den Signalstrom, solange der Relaiskontakt y s geschlossen bleibt, wie es in Fig. 6 bei den Signalposten II und IV dargestellt erscheint. Fährt die Lokomotive in ein isoliertes Stück c ein, wie es beim Blockposten III ersichtlich gemacht ist, dann

Digitized by Google

geht auf der Lokomotive der elektrische Strom nicht mehr kurzweg von Bürste zu Bürste, sondern über c_3, s_3, y_3, x_3, a_3; ein Haltsignal kann nicht erfolgen. Tritt der Zug in die nicht isolierte Schienenstrecke S_3 über, dann gelangt der Strom, solange die rückwärtige Kontaktbürste noch auf c_3 schleift, über b_3, L_2, M_2, l_2, m_3, s_3 und c, und während der Lokomotivapparat auch jetzt wieder unausgelöst bleibt, findet hingegen eine Erregung der Elektromagnete M_2 und m_3 statt, derzufolge in III der Anker A vom Kontakt s_3 abgehoben und auf die isolierte Stellschraube d_3 gelegt und in II der auf d_2 gelegene Anker in die gezeichnete Lage zurückgestellt wird. Würde in der Zeit, wo der in Betracht gezogene Zug sich noch in der Strecke III bis IV befindet, ein nachfahrender bei III eintreffen, erhielte er hier das Haltsignal, weil nunmehr der sonst offene Nebenweg gleichfalls unterbrochen ist und deshalb die Auslösung des Zeichenapparates unbedingt erfolgen muss. Puntnam, dem bezüglich der von ihm auf amerikanischen Bahnlinien vorgenommenen Versuche seitens der Board of Rail Road Commissioners of Massachusetts eine offizielle, günstig lautende Bescheinigung ausgestellt worden ist, hat sein System nach amerikanischer Gepflogenheit auch als Sicherungseinrichtung hinsichtlich Drehbrücken, Schiebebühnen, Schienenbrüche und Weichenverriegelungen zurecht gemacht, was in Anbetracht des Ruhestrombetriebes keiner Schwierigkeit unterliegt. Letztere gewährt es ja auch, jeden Bahnbediensteten durch einen einfachen Unterbrecher in stand zu setzen, im Notfalle Haltsignale zu geben. Puntnam hat schliesslich den Lokomotivapparat noch durch einen Registrierer vervollständigt, der jedes empfangene Haltsignal auf einem Papierstreifen aufschreibt.

Mit dem soeben geschilderten Systeme hat eine in jüngster Zeit auf amerikanischen Bahnen versuchte einschlägige Einrichtung von Wilfrid Boult[1]) einige Aehnlichkeit, doch sind bei der letzteren insofern ganz neue Wege eingeschlagen, als keine mit dem Zug direkt verbundenen stromzuführenden Leitungen vorhanden sind. Vorausgesetzt ist fürs erste auch in diesem Falle wieder, dass die beiden Gleise der Doppelbahn in ziemlich gleiche Teilstrecken . . . 2, 3, 4 . . . (Fig. 7) zerlegt seien, welche die dem Zwecke der räumlichen Zugdeckung entsprechenden Längen besitzen. An den Punkten, wo diese Blockstrecken zusammenstossen und bei gewöhnlichen Blocksignaleinrichtungen ein optisches Blocksignal aufgestellt ist und ebenso an einer etwa 500 m

[1]) Vergl. Dinglers Polytechn. Journal 1897, **306**, p. 185 und Zeitschrift für Elektrotechnik, Wien 1898, p. 65.

Digitized by Google

vorher befindlichen Gleisstelle, wo sonst das zum vorgedachten, eigentlichen Blocksignal gehörende Vorsignal steht, befinden sich keine solchen Signale, weil der Maschinenführer jedes Zuges daselbst die betreffenden Zeichen unmittelbar auf der Lokomotive erhält. Nach amerikanischer Gepflogenheit werden bekanntlich bei Streckenblockanlagen die Blocksignale (Home signals) stets durch Vorsignale (Distant signals) unterstützt, welch letztere mit den ersteren gekuppelt sind und also dieselben Zeichen geben wie die eigentlichen Blocksignale; das Zeichen „Strecke besetzt" des Vorsignals gilt natürlich nicht als absolutes Haltsignal, sondern veranlasst den Maschinenführer, nur die Fahrgeschwindigkeit so weit zu verringern, dass der Zug beim Blocksignal unbedingt stehen bleibt, falls dieses die Fahrt verbietet. Zur Signaleinrichtung der Lokomotiven gehören fürs erste zwei kleine, in verglasten Kästchen angebrachte, aus Aluminium hergestellte Flügelsignale, welche rechts und links vom Führerstande ihren Platz haben, bei Nacht entsprechend beleuchtet sind und ganz dieselben Signalzeichen geben wie die sonst auf der Strecke aufgestellten Mastsignale, indem an denselben das Flügelchen entweder die wagerechte oder eine schräge Lage einnimmt und ersteren Falls Halt, letzteren Falls Frei bedeutet. Es entspricht ferner das zur rechten Hand des Maschinenführers befindliche Signalkästchen dem eigentlichen Blocksignal, das linksseitige hingegen dem Vorsignal. Ein mit diesen beiden sichtbaren Lokomotiv-

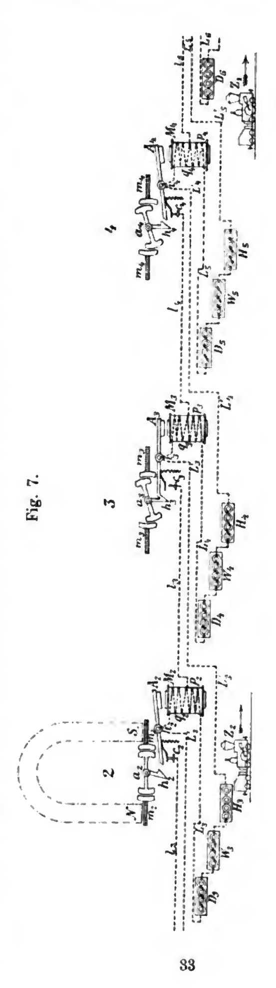


Fig. 7.

Digitized by Google

signalen verbundener Meldewecker läutet jedesmal, so oft der Zug eine jener Streckenstellen passiert, welche dem Standpunkte eines Blocksignals oder eines Vorsignals entsprechen, gleichgiltig, ob das Signalbild des einen bezw. des anderen Miniatursemaphors dabei eine Aenderung erfährt oder nicht. Ein zweiter Wecker (Signalwecker) gibt lediglich Annäherungssignale, indem er nur dann ertönt, wenn sich der Zug einem Blocksignal nähert, das die Fahrt verbietet. Die Hervorrufung der sichtbaren wie hörbaren Lokomotivsignale erfolgt mit Hilfe magnetischer Felder, welche an bestimmten Punkten im Gleise angebracht werden und aus einer Anzahl senkrecht gestellter stählerner Magnetstäbe bestehen, die gleich den Zähnen eines Rechens mit ihren oberen, nordmagnetischen Enden an einer flachen Kopfschiene aus weichem Eisen festgemacht sind. Auf jedem der Stahlstäbe steckt eine Drahtspule, und sämtliche dieser Spulen liegen hintereinandergeschaltet in einer Stromleitung. Je nachdem sich in letzteren, also auch in den Spulen, Strom befindet oder nicht, besitzt die Kopfschiene der magnetischen Batterie die entgegengesetzte Polarität der oberen Magnetstabenden oder dieselbe Polarität, weil eben die Stärke und Richtung des benützten Stromes so gewählt ist, dass er den vorhandenen Magnetismus der Stäbe aufhebt und umkehrt. Jede der besagten magnetischen Batterien befindet sich in einem sorgfältig abgedichteten, oben mit Messingblech abgeschlossenen langen Holzkasten, der an derjenigen Stelle des Eisenbahngleises in den Bahnkörper eingebettet wird, wo damit Signale hervorgerufen werden sollen. Das magnetische Feld muss um so länger sein, je rascher die von demselben zu beeinflussenden Züge fahren, d. h. die Anzahl der an einer gemeinsamen Kopfschiene zu vereinigenden Einzelmagnete wird um so reichlicher zu bemessen sein, je grösser die auf den betreffenden Bahnstrecken vorkommenden Maximalfahrgeschwindigkeiten der Züge sind. Um die Wirkung der magnetischen Felder auf die Zeichenapparate der Lokomotive zu übermitteln, sind an dieser eigene Auslöserelais derart befestigt, dass sie während der Zugfahrt ganz nahe über die in der Strecke liegenden Magnetkasten hinweggelangen. Jedes Relais besteht aus einem U-förmigen Stabe aus weichem Eisen, dessen die polarisierte Relaiszunge tragender Schenkel entsprechend nach abwärts verlängert und zu unterst mit einem als flache Längsschiene ausgebildeten Schuh versehen ist, so dass dieser vermöge seiner Länge beim Passieren eines Streckenmagnetfeldes immer gleich zwei oder drei Einzelmagnete des letzteren übergreift. Wird bei dieser Gelegenheit der Relaisschuh positiv influenziert, so legt sich die Relaiszunge nach

Digitized by Google

rechts und schliesst dadurch den Ortsstrom einer von der Lokomotive mitgeführten galvanischen Batterie in der Weise, dass der von dem polarisierten Anker eines gewöhnlichen Elektromagnetes bewegte kleine Signalflügel im zugehörigen Kästchen die wagerechte Lage erhält. Wird hingegen der Relaisschuh negativ influenziert, dann fällt die Relaiszunge nach links und das bezügliche Signalflügelchen stellt sich schräg. In beiden Fällen ertönt auch der Meldewecker. Für jeden der kleinen Flügelsignalapparate und ebenso für den Signalwecker muss natürlich je ein eigenes Auslöserelais an der Lokomotive vorhanden sein, und wie die zwei Signalkästchen links und rechts vom Führerstande ihren Platz haben, so ist auch das Auslöserelais für die Vorsignalzeichen links, jenes für die Blocksignalzeichen rechts und schliesslich das Relais des Haltsignalvorweckers in der Mitte des Lokomotivgestelles angebracht. Uebereinstimmend damit liegen die Streckenmagnetfelder für die Blocksignale rechts, jene für die Vorsignale links vom Gleis und jene für den Signalwecker in der Mitte des Gleises. Für Auslösungen des Meldeweckers, welche lediglich die Block- und Vorsignalstellen kennzeichnen, besitzt jedes der zwei für die Lokomotivflügelsignale bestimmten Auslöserelais noch eine zweite Zunge mit Mittelstellung, derart, dass bei jeder Magnetisierung des Relaisschenkelschuhes eine kontaktgebende Zungenablenkung, also eine Stromschliessung im Meldewecker erfolgt, worauf die Relaiszunge wieder in ihre Mittellage zurückkehrt. In der schematischen Darstellung, welche Fig. 7 von der Blockstreckeneinrichtung . . . 2, 3, 4 . . . darbietet, sind die den eigentlichen Blocksignalen entsprechenden Streckenmagnete mit . . . H_3, H_4, H_5 . . ., die Signalweckerstreckenmagnete mit . . . W_3, W_4, W_5 . . . und die Vorsignalstreckenmagnete mit . . . D_3, D_4, D_5, D_6 . . bezeichnet. Durchfährt ein Zug die Bahnstrecke, so gelangt er innerhalb jeder Blockteilstrecke zuerst über den Streckenmagnet D, wobei der Meldewecker ertönt, ausserdem ersieht der Maschinenführer auf seinem linksseitigen Flügelsignal, ob das Hauptblocksignal die Weiterfahrt erlaubt oder nicht; überfährt dann der Zug den Streckenmagnet W, von welcher Gattung in der Zeichnung nur je einer angedeutet erscheint, während in Wirklichkeit zwischen D und H stets mehrere in Abständen von etwa 100 m ins Gleis gelegt sind, so ertönt der Signalwecker des Lokomotivführers, falls die nächste Blockstrecke noch besetzt ist, wogegen er bei freier Fahrt stumm bleibt. Beim Streckenmagnetfelde H endlich ertönt neuerdings der Meldewecker und zugleich stellt sich, falls ein Signalwechsel eintritt, im rechtsseitigen Signalkästchen der Flügel in die betreffende Signallage. Eine Umstellung der beiden

Digitized by Google

Lokomotivflügelsignale findet jedoch selbstverständlich nicht statt, solange der Zug im Verlaufe seiner Fahrt mit dem bezüglichen Auslöserelais über Streckenmagnetfelder von gleicher Polarität gelangt, während der Meldewecker für alle Fälle beim Passieren eines der Streckenmagnete D und H laut wird. Zur Vervollständigung der Einrichtung ist an dem Endpunkte . . . 2, 3, 4 . . . jeder Blockstrecke ein Relais ins Gleis gelegt mit einem Anker . . . A_2, A_3, A_4 . . ., dessen Hebel, wenn er seiner Abreissfeder folgen kann, einen Kontakt . . . c_2, c_3, c_4 . . . schliesst. Die letztgedachte Ankerlage ist jedoch nicht bloss von dem magnetischen Zustand des zugehörigen Elektromagnetes . . . M_2, M_3, M_4 . . ., sondern überdem von der Lage eines Sperrhakens . . . h_2, h_3, h_4 . . . abhängig, welcher auf der Drehachse eines Magnetstabes . . . a_2, a_3, a_4 . . . festsitzt. Letzterer bewegt sich zwischen den beiden als Polschuhe geformten Enden der beiden Schenkel je eines aus weichem Eisen hergestellten, wagerecht liegenden Hufeisens . . . $m_2\ m_2$, $m_3\ m_3$, $m_4\ m_4$ . . ., welches sich samt dem Magnetanker und dem Relais in einem oben mit Messingblech abgedeckten, wohlgedichteten Schutzkasten befindet, der ähnlich wie die Streckenmagnetkasten in dem Bahnkörper eingebettet liegt. Behufs Beeinflussung dieser Vorrichtung befindet sich an jeder Lokomotive ein kräftiger Hufeisenmagnet oder zweischenkeliger Elektromagnet, dessen Schenkel so gestellt sind und so tief nach abwärts reichen, dass sie beim Passieren der betreffenden Streckenstellen knapp über die Schenkel der Hufeisen . . . $m_2\ m_2$, $m_3\ m_3$, $m_4\ m_4$ . . . hinweggelangen, so wie es in der Abbildung bei 2 durch strichpunktierte Linien angedeutet erscheint. Natürlich ist die in Fig. 7 dargestellte Lage insofern nicht die richtige, als die Teile, damit sie recht deutlich werden, um 90° gedreht sind, denn in Wirklichkeit liegen die Schenkel der Hufeisen . . . $m_2\ m_2$, $m_3\ m_3$, $m_4\ m_4$ . . . parallel zu den Schienensträngen. In dem Augenblick, wo die Lokomotive eine Streckenrelaisstelle . . . 2, 3, 4 . . . überfährt, magnetisiert N S das Hufeisen . . . $m_2\ m_2$, $m_3\ m_3$, $m_4\ m_4$ . . . im entgegengesetzten Sinne des Ankermagnetismus, weshalb . . . a_2, a_3, a_4 . . . zwischen die Polschuhe seines Hufeisens gezogen, aber auch sofort wieder ausgelassen wird und seine Ruhelage wieder einnimmt, weil das durch den Haken . . . h_2, h_3, h_4 . . . ausgeübte Uebergewicht kräftiger wirkt, als die vermöge des Ankermagnetismus bestehende gewöhnliche Anziehung; nur wenn letztere noch durch die Magnetisierung des Hufeisens vermehrt wird, kann die soeben betrachtete Ankerauslösung eintreten, wobei gleichzeitig der Ankerhebel des zugehörigen Relais vom Haken losgelassen wird, daher die Schliessung des Relaiskontaktes erfolgt. Sämtliche

Digitized by Google

Streckenrelais sind untereinander und mit den Streckenmagneten durch gewöhnliche Telegraphenleitungen . . . l_2, l_3, l_4, l_5 . . ., ferner . . . L_2, L_3, L_4, L_5 . . . und . . . L'_2, L'_3, L'_4, L'_5 . . ., sowie mit einer einzigen, in einer Station aufgestellten Accumulatorenbatterie verbunden. Letztere besorgt gleich den Betrieb einer längeren Bahnstrecke und ist es am zweckdienlichsten, die Stromführungen der Anlagen beider Gleise der Doppelbahn zu einem einzigen Schliessungskreise zusammenzufassen. Der Ruhestrom, welchen die Batterie in diesen über . . . L'_2, i_2, M_2, L_3, D_3, W_3, H_3, L'_3, i_3, M_3, L_4, D_4, W_4, H_4, L'_4, i_4, M_4, L_5, D_5, W_5, H_5, L'_5 . . . fortlaufend geschlossenen Schliessungskreis sendet, erteilt vermöge seiner Richtung und Stärke den Elektromagneten Südmagnetismus, nämlich jene Polarität, welche dem Signal für erlaubte Fahrt entspricht, wogegen die entgegengesetzte, bei stromlosem Zustande vorhandene Polarität (Nordmagnetismus) der Streckenmagnete das Signal Fahrt verboten bewirkt. Auf die Elektromagnete . . . M_2, M_3, M_4 . . . kann der vorgedachte Ruhestrom unter gewöhnlichen Verhältnissen keinen Einfluss nehmen, weil deren Spulen aus zwei gleichen Hälften . . . q_2 p_2, q_3 p_3, q_4 p_4 . . . bestehen, die im ungleichen Sinne gewickelt sind und sich hinsichtlich ihrer magnetisierenden Wirkungen gegenseitig aufheben. Während der gewöhnlichen Ruhelage des Streckenrelais, welche in 3 ersichtlich gemacht ist, hat sonach M_3 keinen Magnetismus, und lediglich der Haken h_3 verhindert den Abfall des Relaishebels. Kommt jedoch eine Lokomotive an der Stelle vorüber, dann erfolgt die in 2 versinnlichte, schon weiter oben besprochene Einziehung des Hufeisenankers, der zur Seite gedrehte Haken lässt den Relaishebel los und dieser schliesst den Relaiskontakt. Da die Ablenkung des Hufeisenmagnetes nur einen Augenblick anhält, kehrt der Haken gleich wieder in seine gewöhnliche Ruhelage zurück und die Teile haben dann die bei 4 dargestellte Lage. Das ist also das Verhältnis, welches — um das der Zeichnung zu Grunde liegende Beispiel zu verfolgen — der Zug Z_1 herbeigeführt hat, indem er die Gleisstelle 4 passierte und in die Bahnstrecke 4 bis 5 einfuhr. Durch den bei c_4 entstandenen Kontakt wurde über l_4, c_4, i_4, L'_4, H_4, W_4, D_4, L_4 und p_3 ein kurzer Schluss hergestellt, demzufolge die Streckenmagnete D_4, W_4 und H_4 stromlos wurden und sonach ihren Nordmagnetismus zurückgewonnen haben, vermöge welchem sie bei etwaiger Befahrung durch einen nachfahrenden Zug diesem das Haltsignal geben würden. Bevor der Zug Z_1 die Blockstelle 4 passiert hatte, d. h. solange er sich zwischen 3 und 4 bewegte, besass in 3 das Relais dieselbe Stellung wie jetzt in 4; die Spulen der Streckenmagnete D_3, W_3 und H_3 waren

Digitized by Google

stromfrei und letztere hatten sonach die Polarität für Halt; dadurch aber, dass nach der Bethätigung von a_4 in 4 der kurze Schluss über c_4 entstanden ist, wurde auch die Spule p_3 des Elektromagnetes M_3 stromlos. Der durch q_3 gehende Strom konnte wirksam werden und den Anker A_3 zur Anziehung bringen, infolgedessen der Kontakt c_3 unterbrochen wurde und sich der Relaishebel wieder auf h_3 legte. Beim Befahren des Relais 4 hat also der Zug 1 nicht nur seine Deckung durch die Magnete D_4, W_4 und H_4 bewirkt, sondern gleichzeitig die Freigebung der verlassenen Blockstrecke 3 bis 4 durchgeführt. Der dem Zuge Z_1 nachfolgende Zug Z_2 wird bei D_3, W_3 und H_3 kein Haltsignal erhalten haben, wohl aber würde ihm durch D_4, W_4 und H_4 die Weiterfahrt verboten werden, käme er bei diesem Streckenmagnete früher an, als der Zug Z_1 aus der Blockstrecke 4 bis 5 in die Blockstrecke 5 bis 6 übergetreten ist.

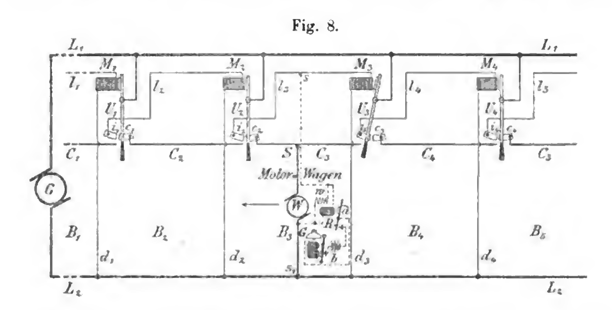
Mit der Boultschen Einrichtung wäre nunmehr die Reihe der für eine beschränkte Nachrichtengebung bestimmten Zugtelegraphen erschöpft, insoweit es sich lediglich um Anordnungen handelt, welche auf Eisenbahnen zur Verwendung gelangen sollen, die mit Dampflokomotiven betrieben sind. Seitdem sich aber die elektrischen Eisenbahnen so glänzend entwickelt haben, fehlt es auch für diese Betriebsform nicht an Entwürfen von Zugtelegraphen, welche ebenfalls der Gruppe A zugeordnet werden können. Hieher zählt u. a. eine ganz besonders einfache und wohldurchdachte, vom Regierungsbaumeister C. P. Feldmann entworfene Anordnung[1]) für Doppelbahnen, welche auf beiden Gleisen übereinstimmend in der Weise durchgeführt ist, wie es die schematische Darstellung (Fig. 8) für ein Gleis ersichtlich macht. Fürs erste wird wieder die Bahnlinie in angemessen lange Blockstrecken B_1, B_2, B_3, B_4 ... geteilt. Von der Generatordynamo G des Elektricitätswerkes gelangt der Strom in die längs der ganzen Bahnlinie kontinuierlich verlaufende Speiseleitung L_1 L_1; die von derselben abzweigende Kontaktleitung ist in bestimmte, voneinander getrennte Stücke C_1, C_2, C_3, C_4 ... geteilt, und jedes dieser den Blockstrecken entsprechenden Leitungsstücke steht mit der Speiseleitung während des ordnungsmässigen Ruhezustandes durch einen beweglichen Umschalterhebel U_1, U_2, U_3, U_4 ... und den Spangenabschluss c_1, c_2, c_3, c_4 ... in leitender Verbindung. Ausserdem ist noch die von den Schienen oder sonstwie gewonnene Rückleitung L_2 L_2 und eine sogenannte Bremsleitung l_1, l_2, l_3, l_4 ... vor-

[1]) Vergl. Centralblatt der Bauverwaltung 1895, p. 24.

Digitized by Google

handen, wovon die erstere wieder stetig längs der ganzen Bahnlinie verlauft, während die letztere aus ebenso vielen und ebenso langen Stücken besteht, wie die Kontaktleitung. Jedes einzelne Stück der Bremsleitung steht durch einen Anschlussdraht d_1, d_2, d_3, d_4 . . . mit der Rückleitung L_2L_2 in Verbindung, und in jedes derselben ist ein kräftiger Elektromagnet oder ein ebensolches Solenoid M_1, M_2, M_3, M_4 . . . eingeschaltet. Das sich in der durch den Pfeil angedeuteten normalen Fahrtrichtung bewegende Motorfahrzeug W berührt mit seinem Stromabnehmer S stets nur die Kontaktleitung, durch deren Vermittlung es den erforderlichen Strom bezieht, welch letzterer seinen Weg von G über L_1, U_2, c_2, C_3, S, W und L_2 nimmt. Wenn aber das Fahrzeug eine Blockstrecke verlässt und dabei den Umschalter passiert, stellt

Fig. 8.



es diesen auf mechanischem Wege, nämlich mittels eines geeigneten Mitnehmers, in die zweite Kontaktlage um, wie es U_3 zeigt, derart, dass die zwischen Speiseleitung und Kontaktleitung bestandene Verbindung bei c_3 aufgehoben und dafür die erstere bei i_3 mit der Bremsleitung l_4 verbunden wird. Diese Umstellung erfolgt also an sämtlichen Umschaltern jedesmal dann, wenn ein Zug die betreffende Blockstrecke verlässt und in die nächste eintritt; vermöge dieses Vorganges wird die Kontaktleitung C_4 der verlassenen Strecke isoliert. Ein nachfahrender Zug erhält demzufolge, wenn er in die Blockstrecke B_4 gelangt, solange die Strecke B_3 noch besetzt ist, keinen Strom und wird in diesem Falle bei nicht besonders ungünstigen Streckenverhältnissen von selbst zum Halten kommen. Eine Weiterfahrt des Folgezuges ist in einem solchen Falle erst dann wieder möglich, wenn der vordere Zug — um bei dem der Fig. 8 unterlegten Beispiele zu

Digitized by Google

bleiben —, in die Blockstrecke C_2 übertretend, den Umschalterhebel U_2 auf i_2 gestellt hat, wodurch ein Zweig des Betriebsstromes von L_1 über U_2, i_2 in die Bremsleitung l_3 und über M_3, d_3 und L_2 seinen Weg findet, so dass M_3 den als Elektromagnetanker oder Solenoidkern ausgeführten Umschalterhebel U_3 in die normale Lage auf c_3 zurückbringt, wodurch C_4 wieder Strom erhalten kann und die Blockstrecke B_4 für einen nachfahrenden Zug wieder fahrbar wird. Ersichtlichermassen bleibt die Bremsleitung jeder Blockstrecke ebensolange stromdurchflossen, als die Speiseleitung daselbst zufolge des Verweilens eines Zuges in der Nachbarstrecke stromlos bleibt. Auf Bahnlinien mit Teilstrecken, welche nur geringe Längen erhalten können, oder wo die Gefällsverhältnisse das Anhalten erschweren, erhalten daher die elektrischen Lokomotiven, bezw. Motorwagen noch einen zweiten Stromabnehmer s, welcher an der Bremsleitung läuft und durch Vermittlung eines in die Abzweigung eines Vorschaltewiderstandes w geschalteten Relais R mit einer Alarmglocke G oder noch besser mit einer selbstthätig wirkenden Bremse — etwa nach Art der Delebecque & Banderalischen Vorrichtung (vergl. S. 466) — in Verbindung steht, und also in Thätigkeit gerät, sobald der Zug in eine Strecke einfährt, deren Nachbarstrecke noch durch einen vorausgegangenen Zug besetzt ist. Die Umschalter sind überdem so eingerichtet, dass sie in Notfällen auch mit der Hand verstellt werden können, um es zu ermöglichen, einem etwa liegen gebliebenen Zuge von rückwärts zu Hilfe zu kommen und durch Nachschieben flott zu machen.

Verflossenen Jahres (1897) hat der amerikanische Elektroingenieur M. P. Saphy in mehreren europäischen Staaten die Patentierung nachstehender Einrichtung[1]) angestrebt: Längs der Strecke der mit Dampf oder Elektricität betriebenen Eisenbahn soll von Station zu Station oberhalb des Gleises an entsprechend aufgestellten Trägern eine bezw. eine zweite Stromleitung angebracht werden, die am vorderen Ende isoliert, am rückwärtigen jedoch mit einer in der Station (am Bahnhof) befindlichen Dynamomaschine verbunden ist. Mit dieser Leitung steht die Lokomotive jedes Zuges nach Art der Stromzuführung elektrischer Tramways mit Oberleitung durch einen Stromabnehmer (Trolley) in Verbindung. Auf jeder Lokomotive befindet sich ein Relais, ein Läutewerk mit Batterie, ein Umschalter und eine Dynamomaschine. Davon ist das Relais einerseits mit dem Stromabnehmer, andererseits

[1]) Vergl. Oesterr. Eisenbahnzeitung vom 1. Januar 1898, p. 10.

Digitized by Google

mit dem Eisenkörper des Fahrzeuges, also mit dem Gleise bezw. mit der Rückleitung verbunden; im Ankerschlusse des Relais liegt für gewöhnlich die Dynamo, deren Strom auf ein Ventil einwirkt, das die Dampfzuströmung unterbricht bezw. einen Ausschalter thätig macht, der den Weg des Betriebsstromes zum Motor aufhebt. Gleichzeitig wirkt der Strom der Lokomotivdynamo auf den Anlasshebel der kontinuierlichen Bremse des Zuges. Es kann sonach von der Station aus ein auf der Strecke befindlicher Zug zum Stillstande gebracht werden, indem der Stationsbeamte durch den Druck auf einen Taster den Strom seiner Dynamomaschine schliesst. Hiedurch wird der Relaisanker auf der Lokomotive angezogen, und die in Thätigkeit tretende Lokomotivdynamo unterbricht den Dampf- oder Stromzutritt, während sie gleichsam die Bremse wirksam macht. Nach einem solchen Anhalten kann der Maschinenführer mittels seines Umschalters an Stelle der Dynamomaschine das Läutewerk in den Ankerschluss des Relais bringen und auf diese Weise mit Hilfe bestimmter Glockensignale noch weitere Aufträge von der Station erhalten.

B. Zugtelegraphen im engeren Sinne. Auch die Reihe der elektrischen Einrichtungen, welche es sich zur Aufgabe stellen, zwischen den fahrenden Zügen untereinander oder zwischen den Zügen und Stationen den Austausch beliebiger Depeschen zu ermöglichen, ist zahlreich, und die Mittel und Wege, welche zur Erreichung dieses allerdings höchst verlockenden Zieles Anwendung gefunden haben, erweisen sich fast noch mannigfacher, als jene bei der Gruppe A. Uebrigens lassen es mehrere „Zugtelegraphen im engeren Sinne“ nicht unversucht, mit dem beliebigen Nachrichtenverkehr auch noch einen zur Sicherung der Züge dienenden Signalaustausch nach Art der Anwendungen A zu verbinden.

Der älteste über den blossen Entwurf hinausgelangte und wenigstens im Modell ausgeführte Zugtelegraph der Gruppe B rührt vom Grafen Du Moncel [1]) her und wurde im Dezember 1854 der französischen Akademie, sowie nächsten Jahres auf der Weltausstellung vorgeführt. Zum Betriebe dieser Anordnung waren längs der Bahn zwei gewöhnliche Drahtleitungen, nämlich eine Telegraphen- und eine Signalleitung, erforderlich; ferner mussten im Eisenbahngleise von Kilometer zu Kilometer je zwei Kontaktschienen ausgelegt sein, von welchen die eine mit der vorgenannten Telegraphen-, die zweite mit der Signalleitung durch einen Zweigdraht in Verbindung stand. Im

[1]) Vergl. Du Moncel, Exposé d'application de l'électricité, 2. Aufl., 2, p. 185.

Digitized by Google

Gepäckwagen jeden Zuges sollten drei federnde, aus je einer am unteren Ende keulenförmig verstärkten, in einer Führungshülse beweglichen Eisenstange bestehende Stromabnehmer vorhanden und örtlich so angebracht sein, dass der erste davon auf einem der beiden Schienenstränge des Gleises schleifend den Erdleitungsanschluss bildete, wogegen der zweite während der Fahrt des Zuges, beim Passieren der Blockstreckenenden über die Signalkontaktschienen und der dritte über die Telegraphenkontaktschienen der Strecke hinstreifte. Weiters befanden sich im Gepäckwagen oder auf der Lokomotive ein vollständiger Bréguetscher Zeigertelegraph, dann ein Wecker und ein Signalapparat, welch letzterer aus einem Elektromagneten bestand, dessen polarisierter Anker je nach seiner Lage eine weisse oder rote Scheibe sichtbar machte. Auf den Stationen sollten sich gleichfalls Batterieen befinden, sowie je ein Umschalter und ein Galvanoskop; ausserdem aber noch ein wie eine Uhr von 60 cm Durchmesser angeordneter Controlapparat, der so aufzustellen war, dass er auch von dem Zugpersonale beobachtet werden konnte. Für gewöhnlich stand nur die Signaleinrichtung in Thätigkeit, welche die Aufgabe hatte, im Gepäckwagen bezw. auf der Lokomotive den Wecker auszulösen und am Zeichenapparat die rote Scheibe hervortreten zu lassen, sobald ein Zug in einer der durch die Kontaktschienen abgegrenzten Kilometerstrecken einfährt, wo sich bereits ein anderer Zug befindet. Gleichzeitig sollte der am Zifferblatte des Stationscontrolapparates umlaufende Zeiger ersehen lassen, in welcher Kilometerstrecke sich jeweilig ein Zug befindet. Sollte telegraphiert werden, mussten die betreffenden Züge stehen bleiben und sich so aufstellen, dass der dritte Stromabnehmer auf einer der Telegraphenkontaktschienen des Gleises aufruhte; sodann konnte der vom Zug mitgeführte Telegraphenapparatsatz samt Batterie eingeschaltet und in gewöhnlicher Art die Depeschierung abgewickelt werden. Zu einem praktischen Versuche ist es mit dem gutgemeinten, aber völlig verfehlten Du Moncelschen Projekte schon deshalb nie gekommen, weil es seitens der fachmännischen Kreise gleich von vornhinein mit gerechtfertigtem Misstrauen aufgenommen wurde.

Um so mehr muss die optimistische Wohlmeinung wundernehmen, welche in derselben Zeit einem allerdings viel einfacheren Zugtelegraphen entgegengebracht wurde, mit dem der sardinische Generaltelegraphendirektor Gaetano Bonelli[1]) aufgetreten war.

[1]) G. Bonelli, Du télégraphe des locomotives, Paris 1856.

Digitized by Google

Freiherr v. Weber[1]) bemerkt hierüber wörtlich: „Der Gedanke an die Annehmlichkeiten und Vorteile, die es gewähren könnte, wenn man jeden Augenblick vom in voller Fahrt begriffenen Zuge aus sich mit den Stationen, ja sogar mit den anderen fahrenden Zügen in Rapport zu setzen im stande wäre, leitete darauf hin. Die Vorteile waren freilich weit mehr imaginär, als positiver Art, aber sie erschienen vielen als so bedeutend, dass sie zur Zeit des Auftauchens der Erfindung im Jahre 1855 das Heil des Eisenbahnwesens von Verfolgung der Ideen Bonellis abhängig erblickten und Gelehrte von Verdienst, wie z. B. der allerdings etwas enthusiastische Couche[2]), ernstlich auf Einführung des Systems drangen." Die in Rede stehende Einrichtung war in der That insofern verhältnismässig einfach, als sie sich darauf beschränkte, die Züge und Stationen wie gewöhnliche Telegraphenämter auszurüsten und durch eine eigene, in das Eisenbahngleis eingelegte Stromleitung zu verbinden. Letztere bestand aus einer 0,02 m dicken, 0,03 m breiten, kantig gestellten Walzeisenschiene, welche fortlaufend etwa 0,1 m hoch über Schienenoberkante in Gleismitte auf Porzellanglocken und eisernen, je 2 m voneinander entfernten Stützen befestigt war. Eine von der Lokomotive nach unten ragende kräftige Bogenfeder, die während der Fahrt ununterbrochen auf der Oberkante der Leitungsschiene hinschleifte, vermittelte die leitende Verbindung zu dem vom Zuge mitgeführten Apparatsatze, während das Metallgestelle und die Räder der Lokomotive den Erdanschluss besorgten. Bei den mit dem Bonellischen Zugtelegraphen noch im Jahre 1855 auf einer beiläufig 8 km langen Strecke zwischen Paris und Saint-Cloud angestellten praktischen Versuchen waren in den Stationen und auf den Lokomotiven Wheatstonesche Nadeltelegraphen und je ein Wecker und eine Batterie von 20 Daniellelementen vorhanden. Die Kosten der Anlage berechneten sich mit 562 Franken pro Kilometer. Diese Versuche verliefen anfänglich ganz günstig, allein schon innerhalb eines Monats erwies sich die ganze Einrichtung als für die Dauer undurchführbar, teils wegen der öfteren Brüche der Leitungsschiene, teils wegen der Stromableitung u. s. w. Für die Sicherung der Zugfahrten an sich hatte die Anlage selbstverständlich gar nichts geleistet[3]).

[1]) Vergl. M. M. Freiherr v. Weber, Das Telegraphen- und Signalwesen, Weimar 1867, p. 119.

[2]) Vergl. M. C. Couche, Sur la télégraphie des trains et le parti qu'on pourrait en tirer, Paris 1856.

[3]) Vergl. Etenaud, Télégraphie, 1, p. 171.

Digitized by Google

Einen jener Zugtelegraphen, welche nach Art des Du Moncelschen mit der Möglichkeit eines telegraphischen Verkehrs mit einer selbstthätigen Signaleinrichtung für die Zugdeckung verbunden sein sollte, war jener von E. Vincenzi. Jeder Zug und jede Eisenbahnstation (Bahnhof) besass ausser einem für Gegenstrombetrieb eingerichteten, nur ausnahmsweise in Dienst zu stellenden Telegraphenapparatsatz einen Wecker nebst einer Batterie. Sämtliche dieser Batterieen hatten dieselbe Elementenzahl und lagen mit dem positiven Pol an Erde. Von jeder Station ging eine Fernleitung aus, welche am anderen Ende unangeschlossen, d. h. isoliert blieb; dafür waren auf der Strecke zwischen der Nachbarstation in Abständen von je 1 km neben dem Gleise in Wagentritthöhe wagerechte, mit der Fernleitung durch einen Zweigdraht leitend verbundene Eisenstäbe auf je zwei Pfähle derart befestigt, dass sie bei der Vorbeifahrt jeden Zuges durch vier am Tender angebrachte, isolierte, aber mit den elektrischen Lokomotivapparaten verbundene Federn berührt wurden. Solange die Batterieen ihre normale Schaltung behielten, konnten bei dieser Gelegenheit keinerlei Stromäusserungen zu Tage treten, weil sich die Batterie der Station und jene des Zuges gegenseitig aufhoben; wurde jedoch vorher an einer oder an der anderen Stelle die Batterie ausgeschaltet oder ihr Strom umgekehrt, dann erfolgte bei der Vorbeifahrt des Zuges sowohl auf der Lokomotive als in der Station die Weckerauslösung. In gleicher Weise trat eine Störung des Gleichgewichtszustandes in der Leitung ein, sobald ein zweiter Zug in dieselbe Bahnstrecke gelangte und in demselben Momente eine Kontaktstelle überfuhr, wo dies vom vorausgehenden Zuge geschah. Wollte sich ein Zug in telegraphische Verbindung mit der Station setzen, so hatte er an einem der Streckenkontakte anzuhalten und so Aufstellung zu nehmen, dass eine oder mehrere der Stromabnehmerfedern des Tenders mit einer der Leitungskontaktstangen in Berührung waren. Dann liess sich mit Hilfe eines Kommutators ein bestimmtes Weckersignal geben, demzufolge die Station ihren Apparatsatz einschaltete, worauf die weitere Abwickelung des telegraphischen Wechselverkehrs in gewöhnlicher Weise vor sich gehen konnte. In derselben Weise konnten innerhalb einer und derselben Bahnstrecke auch zwei Züge in telegraphische Verbindung treten, wenn beide die vorgedachte Aufstellung an Kontaktstellen genommen hatten. Mit dem Vincenzischen[1]) Zugtelegraphen ist, wie bereits S. 462 erwähnt wurde, seitens

[1]) Vergl. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 2, p. 268.

Digitized by Google

der toskanischen Eisenbahn auf der Strecke Florenz-Adrezzo im Jahre 1861 ein Versuch gemacht worden.

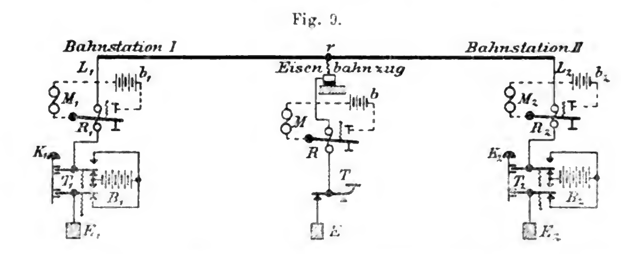
Eine wesentlich vollkommenere Anordnung mit Gegenstromschaltung, bei welcher jedoch eine fortlaufende Verbindung des Zuges mit der Telegraphenleitung und die Verwendung von Morseapparaten vorausgesetzt wird, wurde von F. v. Ronneburg[1]) in Vorschlag gebracht. Hiebei war die Stromzuführung fast so geplant, wie einige Jahre später die oberirdischen Zuleitungen nach dem sogenannten Trolleywiresystem für elektrische Eisenbahnen hergestellt wurden. Der Leitungsdraht sollte längs der ganzen Strecke etwa 3 m hoch über Schienenoberkante gespannt und mittels wagerechter, an den Isolatoren am Telegraphengestänge festgemachter Spiralen nahezu bis in das Ladeprofil der Züge gebracht sein. Bei jedem Zuge sollte an der Wand des als Telegraphenstation eingerichteten Gepäckwagens eine auf einen wagerechten, gleichfalls spiralförmigen Träger sitzende Metallrolle so gestellt sein, dass sie während der ganzen, zwischen zwei Bahnstationen abzuleistenden Fahrt des Zuges gegen den Leitungsdraht gedrückt wird und an demselben fortrollend dauernd Kontakt bildet. Von dieser Rolle r (Fig. 9), welche der Leitung L_1, L_2 entlang gleitet, führt ein Anschlussdraht zu dem vom Eisenbahnzuge mitgeführten Apparatsatze, welcher das gewöhnliche, für Ruhestrombetrieb eingerichtete Morserelais R, einen Unterbrechungstaster T, den Morseschreiber M und die Ortsbatterie b umfasst. Der Ruhekontakt des Tasters T ist durch einen Draht mit dem Eisengestelle des Wagens und sonach durch Achsen, Räder und Schienen an Erde gelegt. In den beiden die Strecke abschliessenden Bahnstationen I und II befindet sich überall ein gleichfalls für Ruhestrom eingerichtetes Relais R_1 bezw. R_2, mit polarisiertem Anker, und zwar hat der Anker von R_1 die entgegengesetzte Polarität von jenem des Relais R_2. In I und II sind ferner die einander entgegengeschalteten, gleichstarken Batterieen B_1 und B_2 aufgestellt und die zweiarmigen Taster T_1 und T_2 vorhanden, mit denen, wenn man sie mittels des Knopfes K_1 bezw. K_2 niederdrückt, der Strom der zugehörigen Batterie B_1 bezw. B_2 umgekehrt wird. Solange kein Zug zwischen I und II verkehrt, sind in beiden Stationen die Relaisanker abgerissen, weil sich die Ströme von B_1 und B_2 gegenseitig aufheben; in dieser Zeit könnte jede Station unter Ausschaltung oder Umkehrung ihrer Batterie mittels eines gewöhnlichen einhebeligen Morsetasters nach der anderen telegraphieren.

[1]) Vergl. Dinglers Polytechn. Journal 1875, **217**, p. 208.

Digitized by Google

Noch leichter geht dies aber, wenn die Taster T_1 und T_2 in der Weise benützt werden, wie die Taster einer auf amerikanischen Ruhestrom geschalteten Morselinie, d. h. indem man die Morsezeichen durch Heben des Tasterknopfes kennzeichnet, statt durch Niederdrücken. Fährt jedoch ein Zug in die Strecke ein, dann sind infolge des über R und T entstandenen Erdschlusses E alle drei Relaisanker angezogen, nämlich R_1 durch den Strom von B_1, R durch den Strom von $B_1 + B_2$ und R_2 durch jenen von B_2. Benützt der Zugführer seinen Unterbrechungstaster T, so macht er alle drei Relais abreissen, d. h. er kann gleichzeitig nach I und II telegraphieren, wobei sein Relais mitspielt. Will eine Station, z. B. II, mit dem Zuge depeschieren, so werden die Morsezeichen durch Niederdrücken des Tasters T_2 hervorgerufen, denn es durchlaufen in diesem Falle zwei gleichstarke, einander entgegengesetzte Ströme das Relais R,

Fig. 9.



und dasselbe wird, wie bei der Stromunterbrechung, ansprechen. Zugleich schreibt auch der Morse M_2, weil der durch R_2 laufende Strom vermöge der Polarität des Ankers die Wirkung der Abreissfeder von R_2 unterstützt; das Relais R_1 in I spielt jedoch nicht mit, weil dessen Anker durch die von II ausgehende Stromvermehrung nur um so fester angezogen bleibt. Ebenso würden von der Station II, wenn I mit dem Zuge korrespondiert, die Zeichen nicht mitgelesen werden können. Diese Zugtelegraphen sollten zugleich als Controleinrichtung hinsichtlich der Fahrgeschwindigkeit der Züge dienen, indem an bestimmten Stellen der Bahnstrecke — was insbesondere an den Ueberbrückungen von Bahnüberwegen ohnehin nicht vermieden werden könnte — die Leitung abgesetzt und durch einen höher liegenden Draht ersetzt werden sollte. Beim Vorbeifahren an diesen Stellen verlässt das Kontaktröllchen die Leitung, alle drei Morse schreiben



Digitized by Google

einen entsprechend langen Strich, und diese selbstthätig telegraphierten Striche können, wenn sich der Papierstreifen der Morseschreiber mit einer gleichmässigen bestimmten Geschwindigkeit abwickelt, in der That den jeweiligen Ort des Zuges, sowie seine Fahrgeschwindigkeit ersehen und überwachen lassen.

Diese v. Ronneburgsche Idee wurde in Schweden durch Dallström verbessert und brachte es daselbst 1880 bis zu einem vorübergehenden praktischen Versuche. Dallström benützte als Stromabnehmer an den Zügen eine sattelförmig eingebogene Eisenblechtrommel, die mit Hilfe entsprechend isolierter Lagergestelle auf dem Dache des Gepäckwagens angebracht und mit den im Wageninnern untergebrachten Morseapparaten in leitende Verbindung gesetzt war. Der längs der Bahnstrecke gezogene Leitungsdraht stieg auf senkrechten, an Auslegern isoliert befestigten Spiralen und hatte eine Lage, vermöge welcher er die Kontakttrommel jedes in der Strecke fahrenden oder stehenden Zuges fortlaufend berührte.

Ein anderer Zugtelegraph, bei welchem ebenfalls Morseapparate mit Gegenstromschaltung und das Eisenbahngleis als Rückleitung Anwendung finden sollten, wurde 1881 in Frankreich von D'Auriac[1]) angeregt. Das Abweichende daran bestand in der Ausführung der Zuleitung, welche auch in Deutschland durch ein Reichspatent (Nr. 17975) geschützt war, und einesteils aus einem am Gepäckwagen jedes Zuges vorhandenen Kontaktrade, welches federnd gelagert ist und sich mittels eines Handrades beliebig höher oder tiefer einstellen lässt, andererseits aus der Stromleitung bestehen sollte, welche an den Schwellen des Gleises angebracht und aus drei zwischen zwei Wagenschienen festgeklemmten, kantig gestellten verzinkten Flacheisen gebildet ist.

Zwischen Dallström und D'Auriac hatte sich auch C. Bondi[2]), Professor am Staatsgymnasium in Triest, mit dem Entwurfe eines Zugtelegraphen beschäftigt, welcher ausser dem telegraphischen Verkehr zwischen den fahrenden Zügen und den Stationen zugleich die selbstthätige Zugdeckung, ähnlich wie die Ceradinische Anordnung (vergl. S. 466), ermöglichen sollte; doch waren an Stelle der Lokomotivpfeifen sichtbare und hörbare Streckensignale in Aussicht genommen.

Recht eigentümlich war der Weg, welchen ein amerikanischer Kapitän, C. W. William[3]), einschlug, um die telegraphische Ver-

---

[1]) Vergl. Elektrotechn. Zeitschrift, Juni 1882, p. 249.

[2]) Vergl. Oesterr. Eisenbahnzeitung 1880, Nr. 24, S. 335.

[3]) Vergl. Engineering **34**, p. 14.

Digitized by Google

bindung vermittelst der bekannten, auf amerikanischen Ruhestrom geschalteten Morseklopfer zwischen den in Bewegung begriffenen Eisenbahnzügen und den Stationen der betreffenden Eisenbahnlinie zu ermöglichen. Die Stromzuführung bestand in einer längs der Strecke errichteten, durch häufige Lücken unterbrochenen Telegraphenleitung. Die Enden dieser Unterbrechungsstellen waren an Kontaktschienen gebracht, die auf den Querschwellen des Bahngleises festlagen. Die Kontaktschienen trugen zwei Metallrollen, welche mit den zur Leitung führenden Anschlussdrähten in Verbindung standen. Wurden diese Rollen niedergedrückt, so entstand eine Unterbrechung des Linienstromes; befanden sie sich in normaler Lage, so blieb der Strom geschlossen. Der Boden des Eisenbahnwagens, welcher die Telegraphenapparate enthielt, hatte einen vorstehenden Schuh mit zwei Metallstreifen oder Stangen, welche während der Fahrt des Zuges mit den besagten Rollen in Berührung traten, diese niederdrückten, den Stromkreis an dieser Stelle unterbrachen, aber dafür den Apparatsatz des Wagens in die Leitung einschalteten. Die Streifen besassen eine genügende Länge, um den Wagen mit Hilfe der dicht nebeneinander angeordneten Kontaktschienen und Rollen dauernd in dem Stromkreis zu erhalten, indem der durch eine Rolle und einen der Streifen in die Apparate des Wagens gelangende Strom stets durch den zweiten Streifen und die zweite Rolle seinen Weg in die Leitung zurückfand. Mit einer solchen Einrichtung wurden im Jahre 1882 auf einer etwa 300 m langen Strecke der Atlanta- and Charlotte-Eisenbahn in Amerika Versuche angestellt, wobei die Kontaktschienen in Entfernungen von 12,2 m angebracht waren. Telegramme wurden im Zuge sowohl während des Stillstandes als auch während der Fahrt aufgenommen. Die grösste Fahrgeschwindigkeit belief sich letzteren Falls auf 40 km in der Stunde.

Von da an trat in der Erfindung von „Zugtelegraphen mit direkter Stromzuführung“ eine mehrjährige Pause ein, welche von E. Delphieu, Kassier der französischen Staatstelegraphen, mit einem Projekte unterbrochen wurde, das nach dem „Journal télégraphique“ vom 25. Mai 1889 berufen sein sollte, nebst der Ermöglichung des telegraphischen Verkehrs der Züge gleichzeitig alle nur immer wünschenswerte Zugsicherungen zu leisten; Näheres über die Anordnung und das weitere Schicksal dieses Systems ist jedoch nicht bekannt geworden. Ebenfalls im Jahre 1889 wurde in Deutschland dem amerikanischen Ingenieur Perls unter Nr. 50258 vom 5. Februar ein Zugtelegraph patentiert, zu welchem mit Nr. 54801 vom 4. März 1890 noch ein

Digitized by Google

Nachtragspatent erteilt worden ist. Mit dieser Einrichtung haben im Jahre 1893 — als Privatversuch des Erfinders — auf der königl. preussischen Militärbahnstrecke Malchow-Marienfelde praktische Erprobungen[1]) stattgefunden. Die Leistungen dieses Zugtelegraphen erstreckten sich nach drei Richtungen: 1. verhüteten Warnungssignale, welche auf der Lokomotive hervorgerufen wurden, jede gefährliche Annäherung hintereinander oder einander entgegenfahrender Züge; 2. wurde in gleicher Weise jeder Zug vor seiner Einfahrt in die Station gewarnt, falls die Einfahrtweiche auf ein Gleis gestellt war, auf dem sich bereits ein Zug befand; 3. konnten die Stationen mit den in der anstossenden Strecke stehenden oder fahrenden Züge oder die zwischen zwei Nachbarstationen auf der Strecke befindlichen Züge untereinander in telephonischen Verkehr treten. Zu dem Ende waren im Gleismittel, 50 mm höher als die Schienenoberkanten, drei je 175 mm voneinander entfernte, aus hochkantig gestellten, an Porzellanisolatoren befestigten, 5 mm starken und 8 mm breiten, verzinkten Flacheisen hergestellte Leitungen vorhanden. Davon lief die mittlere Leitungsschiene ohne jegliche Unterbrechung von Station zu Station, wo sie mittels Kabel an je einem Telephonapparatsatz anschloss und schliesslich an Erde gelegt war; diese Leitung diente lediglich zur Vermittlung des Fernsprechers zwischen Stationen und Zügen. Die rechts und links liegenden Leitungsschienen hatten vorwiegend der Zugdeckung zu dienen und waren in bestimmten Absätzen unterbrochen, derart, dass die Lage der Unterbrechungsstellen in den beiden Leitungsstreifen abwechselten, genau so, wie es De Castro anwendete (vergl. S. 461) und wie es Fig. 2 ersichtlich macht. Zur Durchführung der unter 2. angeführten Leistung waren die drei Leitungsschienen sowohl im Hauptgleis als im Abzweigungsgleis fortgesetzt, und befanden sich an den Weichenstellvorrichtungen Umschalter, durch welche die gedachten Leitungsfortsetzungen mit den von der Strecke kommenden Leitungsschienen selbstthätig genau so in leitende Verbindung gebracht wurden, wie die Weiche lag, d. h. wenn die Weiche fürs Hauptgleis stand, setzte sich dahin auch die Leitung fort, wogegen die im Abzweigungsgleis angebrachte Leitungsfortsetzung ausser Kontakt gebracht war. Bei der zweiten Weichenlage trat das umgekehrte Verhältnis ein. Zur Zeichengebung auf der Lokomotive befand sich bei jedem Zuge ein aus 8 Trockenelementen

[1]) Vergl. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen 1894, Heft 1, p. 7 Elektrotechn. Zeitschrift 1894, p. 204.

Digitized by Google

à 1,5 Volt bestehende Batterie in einem beiläufig 30 cm langen, 20 cm breiten und ebenso hohen Kästchen, dann ein Wecker, ferner eine Vorrichtung zum selbstthätigen elektrischen Auslösen der Lokomotivpfeife oder der Pressluftbremse des Zuges, und schliesslich ein vollständiger Telephonapparatsatz. Diese Teile mit den drei Leitungen in Anschluss zu bringen, war die Aufgabe dreier am Tender isoliert befestigter, nach abwärts federnder Bügel, welche Stromabnehmerbürsten trugen, mit denen sie auf den Leitungsschienen schleiften. Zwischen den beiden seitlichen Leitungsschienen war die obgenannte Batterie mit dem Wecker und dann die Vorrichtung zur Auslösung der Dampfpfeife oder Zugbremse eingeschaltet; dementgegen stand der zur mittleren Leitungsschiene führende Stromabnehmer mit dem Telephonapparatsatze in Verbindung, der andererseits durch den Metallkörper der Lokomotive und die Räder an Erde lag. Hiedurch waren somit die erforderlichen Vorbedingungen geschaffen, dass ein in den seitlichen Leitschienen vorhandener Strom seinen Weg zu dem Lokomotivwecker finden und diesen thätig machen konnte, oder dass ebensowohl von der Lokomotivbatterie ein Strom seinen Weg zu einer Station oder zu einem zweiten in derselben Strecke befindlichen Zuge finden und ersteren Falls den Anrufwecker der Station auslösen oder letzteren Falls die Dampfpfeifen oder Bremsen der beiden Züge thätig machen konnte, falls sich die beiden Züge etwa so nahe gekommen wären, dass zwischen ihnen in den beiden seitlichen Leitungsstreifen nur mehr eine einzige Unterbrechungsstelle lag. Der Perlssche Zugtelegraph war ersichtlichermassen nichts weiter als eine Kombination mehrerer der bereits erwähnten und erläuterten älteren Systeme, mit der einzigen Neuerung, dass an die Stelle von Telegraphenapparaten das Telephon trat.

Zu derselben Zeit, in welcher die soeben besprochenen Versuche auf der königl. preussischen Militärbahn stattfanden, wurden auch in Algier, und zwar auf der zu den Bergwerken Mokta el Hadid führenden Zweigbahnlinie, das Zugtelegraphensystem eines Ingenieurs Etienne[1]) angeblich mit bestem Erfolge erprobt. Der diesbezüglich durch die einschlägigen Fachblätter gelaufene Bericht beschränkt sich jedoch lediglich auf den obigen Umstand und auf die Wiedergabe des Etienneschen Programms, welches sich vom Perlsschen bloss insofern unterscheidet, als für den Depeschenverkehr nicht Telephon, sondern Zeiger- oder Schreibtelegraphen zur Verwendung gelangen sollen.

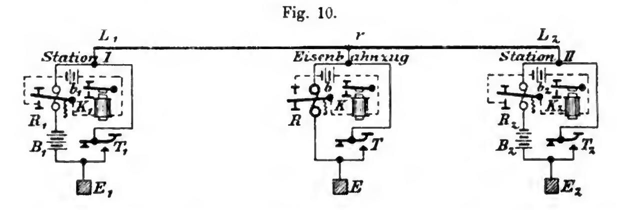
Als jüngster der Zugtelegraphen mit direkter Leitungszuführung,

[1]) Vergl. Le Génie civil vom 1. März 1893.

Digitized by Google

über welchen Näheres bekannt geworden ist, wäre nunmehr eine von C. D. Royse und W. A. Royse[1]) in Amerika (Indianapolis) erdachte Einrichtung anzuführen, welche sich wie das v. Ronneburgsché Projekt, mit dem sie überhaupt grosse Aehnlichkeit besitzt, lediglich auf die Ermöglichung eines telegraphischen Verkehrs der fahrenden Züge untereinander und mit den Stationen beschränkt. Die Stromleitung erhält ihren Platz in der Mitte des Eisenbahngleises und besteht aus einem schmalen, isoliert verlegten, fortlaufenden Eisenbande, das nicht schwerer ist als 1,5 bis 2 kg per laufenden Meter. Diese Leitung wird in den Stationen zum Apparatsatze, einem Relais R_1 und R_2 (Fig. 10) mit Morseklopfer K_1 und K_2, dann zur Linienbatterie B_1 bezw. B_2 geführt, welch letztere gleich stark und beide mit dem Zinkpol zur Erde angeschlossen sind. Die Stationsrelais haben die gewöhnliche Anordnung für Arbeitsstrom und nur geringen

Fig. 10.



Spulenwiderstand, allein sehr stark gespannte Arbeitsfedern, so dass nur stärkere Ströme die Ankeranziehung bewirken können, während bei schwachen Strömen die Anker abgerissen bleiben. Ist kein Zug in der Strecke, so können die beiden Stationen I und II mit Hilfe ihrer Taster T_1 und T_2 depeschieren, indem diese, wenn sie niedergedrückt werden, eine kurze Verbindung zwischen Leitung und Erde herstellen, demzufolge die Batterieen B_1 und B_2 in den getrennten Stromkreisen voll zur Thätigkeit gelangen und die Anziehung der Relaisanker bewirken. Dabei arbeitet R_1 durch den Strom von B_1 und R_2 durch jenen von B_2; hiegegen bleiben während der Ruhelage der Taster auch die Relaishebel in Ruhe, d. h. abgerissen, weil sich B_1 und B_2 gegenseitig aufheben und die Leitung also regulär stromlos ist. Die Einrichtung der Züge wird durch einen bürstenförmigen Stromabnehmer r, welcher auf der Leitungsschiene L_1, L_2 schleift, mit dem Schliessungs-

[1]) Vergl. The electrical Engineer, New York, 16. September 1897.

Digitized by Google

kreise in Verbindung gebracht und besteht aus dem Relais R mit dem Morseklopfer K und der Ortsbatterie b, ferner aus dem Morsetaster T und dem durch die Eisenteile des Fahrzeuges und das Gleis vermittelten Erdanschluss E. Ausser der Abwesenheit der Linienbatterie weist die Zugeinrichtung gegenüber der Stationseinrichtung noch die Absonderheit auf, dass das Relais R für Ruhestrom eingerichtet ist und einen Spulenwiderstand von 1000 bis 1500 Ohm besitzt. Fährt ein Zug in die Strecke ein, so gehen die Ströme beider Linienbatterieen durch R zur Erde, der Anker von R wird also angezogen; dagegen sind die durch R_1 und R_2 gelangenden Ströme infolge des grossen Spulenwiderstandes von R zu schwach, um die Ankeranziehung bewirken zu können. Auf diese Weise bleiben also auch nach der Zugeinfahrt sämtliche Relais unthätig, solange von keinem der Taster Gebrauch gemacht wird. Anderen Falls entsteht jedoch durch den Tasterschluss ein kurzer Nebenweg zur Erde, der etwa höchstens einen Widerstand von 1 Ohm besitzt, also fast den ganzen Strom der beiden Linienbatterieen ableitet und die Spulen von R nahezu stromlos macht, weshalb der Anker abreisst. Zugleich wird in den durch den niedergedrückten Taster neu entstandenen Schliessungskreisen links die Batterie B_1, rechts die Batterie B_2 voll zur Geltung kommen, weshalb die Relais R_1 und R_2 ebenso arbeiten, wie früher, wo kein Zug in der Strecke war. Diese Vorgänge bleiben ganz dieselben, gleichgiltig, ob ein Stationstaster oder der Taster im Zuge zur Benützung kommt, und in allen Fällen spielen stets alle drei Relais mit: R_1 und R_2 durch die Stromvermehrung, R vermöge der Stromverminderung. Dasselbe Verhältnis bleibt, wie es sich an der Hand der Zeichnung leicht feststellen lässt, auch dann noch aufrecht, wenn gleichzeitig zwei Züge in der Strecke vorhanden sind. Die gestellte Aufgabe ist vorliegenden Falles, was die elektrische Stromschaltung anbelangt, in der That ebenso einfach als sinnreich gelöst.

Die allerletzte Nachricht[1]) über eine hieher gehörige Einrichtung kommt gleichfalls aus Amerika und lautet, dass ein von Georg Trott in Chicago erfundener Zugtelegraph auf der Pennsylvaniabahn der praktischen Erprobung unterzogen werden wird; jeder auf der Fahrt begriffene Zug soll mit der nächsten, in der Richtung seiner Fahrt liegenden Station fortlaufend in telegraphischer Verbindung

[1]) Noch jünger ist allerdings ein vom österr. k. k. Hauptmann Stefan Rendulic erfundener, hinsichtlich seiner Anordnung noch unbekannter Zugtelegraph, für den im November 1898 in allen Ländern Patente angesucht worden sind.

Digitized by Google

stehen und jederzeit von dort Nachrichten empfangen oder solche dahin abgeben können.

Seit Beginn der achtziger Jahre war übrigens in Amerika auch hinsichtlich der zur Gruppe B zählenden Einrichtungen ein reger Eifer erwacht, jenen Schwierigkeiten aus dem Wege zu gehen, welche bei den elektrischen Zugtelegraphen vornehmlich in der Durchführung einer direkten Stromzuführung liegen, und die bezüglichen Bestrebungen haben zu ganz ungeahnten, hochinteressanten Ergebnissen geführt, wenn auch der Eisenbahnbetrieb daraus den erhofften und erstrebten Nutzen nicht zu ziehen vermochte. In Anbetracht der Eigenart dieser „Zugtelegraphen ohne direkte Stromzuführung" erschien es gerechtfertigt, sie aus der allgemeinen chronologischen Reihe der Gruppe B loszutrennen und für sich zu behandeln. Der erste einschlägige praktische Versuch wurde mit einer kleinen Anlage gemacht, welche Ingenieur Phelps im Jahre 1884 auf dem Harlem River-Flügel der New Haven-Eisenbahn eingerichtet hatte. Phelps[1]) war schon mehrere Jahre früher auf die Idee verfallen, an Stelle der direkten, mittels eines Gleitkontaktes zu bewirkenden Stromzuführung die elektrische Induktion treten zu lassen, zu welchem Ende er zwei getrennte, gegenseitig in Wechselwirkung tretende Stromkreise herstellte, nämlich einen längs der Strecke von Station zu Station und einen zweiten auf jenem Eisenbahnwagen des Zuges, welcher die Telegraphenapparate enthielt. Ersterer bestand aus einem Bronzedraht, der im Eisenbahngleis an niedrigen, auf den Querschwellen des Oberbaues befestigten Isolatoren gespannt und in den beiden die Strecke abschliessenden Stationen zu den Telegraphenapparaten geführt war, die andererseits an Erde lagen. Zum Schutze dieses Leitungsdrahtes bedeckte denselben, seinem ganzen Verlaufe nach, eine 5 cm starke Holzrinne, an deren Stelle bei Weichen, Bahnüberwegen oder Gleiskreuzungen ein entsprechend tief in den Bahnkörper verlegtes Gasrohr trat. Den Stromkreis am Wagen bildete ein isolierter Kupferdraht von beiläufig 2500 m Länge, welcher in 90 Windungen auf einen senkrechten Rahmen, der in der Richtung der Längsachse den ganzen Wagen umfasste, aufgewickelt war. Jener Teil dieser Windungen, welche unter dem Wagen liefen, wurde von einem 50 mm weiten, am Wagengestelle befestigten Gasrohr umschlossen, dessen Lager so gewählt war, dass es sich stets parallel oberhalb der vorbetrachteten Streckenleitung und maximal 175 mm von derselben entfernt befand. Jeder von

[1]) Vergl. Electrical World 6, p. 182.

Digitized by Google

einer der Stationen durch die Streckenleitung gesendeter Strom erzeugte in den Wagendrahtwindungen einen Induktionsstrom, welcher ein höchst empfindliches Relais zu schliessen und auf diese Weise einen gewöhnlichen Morseklopfer in Thätigkeit zu bringen hatte. In den Stationen stand als Empfangsapparat kein Relais, sondern nur je ein Telephonklopfer in Verwendung. Noch in demselben Jahre (1884) machte Phelps ganz zufällig die überraschende Beobachtung[1], dass man bei 4 Fuss (1,22 m) Entfernung der Wagendrahtrolle von der Streckenleitung noch ganz gut mittels der Induktionsströme telegraphieren konnte; daraufhin versuchte er es, auf der Doppelbahn mit nur einer Streckenleitung das Auslange zu finden, was keinem Anstand unterlag. Demzufolge verminderten sich die Anlagekosten des Systems, welche sich ursprünglich auf 150 Dollars für eine Meile (1,6 km) beliefen, auf nur 50 Dollars. Bei der verbesserten und vereinfachten Anordnung war als Streckenleitung nur ein gewöhnlicher Telegraphendraht verwendet, welcher auf je 25' Fuss (7,5 m) Entfernung auf besonders dazu hergestellten Isolatoren an den Verbindungslaschen der Eisenbahnschienen eines Gleisstranges etwa 3 Zoll (75 mm) ausserhalb des Gleises gespannt wurde. Die Drahtrolle des Wagens kam auf die Aussenseite des letzteren und umlief ihn seiner ganzen Breite und Länge nach, d. h. der ursprünglich stehend angebrachte Rahmen für die Windungen lag nunmehr wagerecht, so dass bei jeder Fahrtrichtung eine Längsseite der Drahtrolle des Wagens der Streckenleitung zugewendet war. In den Stationen befand sich je eine Batterie von 30, im Telegraphenwagen des Zuges eine solche von 10 Fullerelementen: ersteren Orts wurden die Depeschen in der Form von Morsezeichen auf einem Telephon abgehört; im Wagen befand sich jedoch als Empfangsapparat ein gewöhnlicher amerikanischer Morseklopfer, den ein in die Drahtrolle des Wagens eingeschaltetes D'Arlincourrsches Relais im Schliessungskreise einer Ortsbatterie bethätigte. Die Zeichengebung geschah allerorts mittels je eines gewöhnlichen Morsearbeitsstromtasters, und die ganze Einrichtung entsprach ihrer Aufgabe vortrefflich.

Wie es scheint, waren es diese günstigen Ergebnisse, welche Edison, Gilliland, Batcherol u. a. mehr zu ähnlichen Bemühungen anregten und die es veranlassten, dass die Phelpsschen Versuche in Verbindung mit einer von William Wilay Smith[2]) herrührenden, demselben bereits 1881 patentierten Idee weiter verfolgt

[1]) Vergl. Electrical World 6, p. 613.

[2]) Vergl. Revue industrielle 1886, p. 105.

Digitized by Google

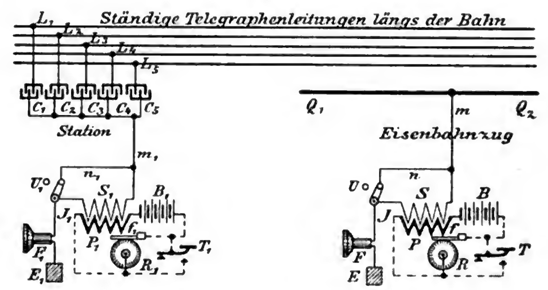
wurden. Im Sinne Smiths sollten für die Zugtelegraphen nicht erst besondere Streckenleitungen hergestellt, sondern statt solchen die Gesamtheit der bereits längs der Bahnen gewöhnlich vorhandenen Telegraphenleitungen herangezogen und auf denselben also eine Art Doppeltelegraphie durchgeführt werden. Da sich diese Telegraphenleitungen, deren Enden an Erde liegen, in ihrer Gesamtheit als die eine Belegung eines riesigen Kondensators ansehen lassen, so sollte eine zweite Belegung auf jedem Zuge hergestellt werden, und die zwischen der letzteren und den Telegraphenleitungen vorhandene Luftschicht würde dann die Rolle des Nichtleiters des Kondensators übernehmen. Nach diesem Grundgedanken schufen Edison und Gilliland[1]) eine Anordnung, wie sie durch Fig. 11 ersichtlich gemacht ist. Bei derselben wurden sämtliche Wagen der Züge ihrer ganzen Länge nach mit Kupferblechstreifen versehen, die vom Wagenkörper durch Ebonitzwischenlagen isoliert waren. Von Wagen zu Wagen standen die Kupferstreifen vermittelst biegsamer Kuppelungsschnüre in leitender Verbindung. Die in einem geeigneten Wagenabteil untergebrachten Telegraphenapparate wurden zwischen die vorgedachte Blechbelegung Q_1, Q_2 und einer durch das Gestell des betreffenden Fahrzeuges und durch das Gleis vermittelten Erdleitung eingeschaltet; ihre Anordnung und Verbindung war ganz die gleiche, wie in den Bahnstationen, nur dass in letzterer der Anschluss an die Telegraphenleitungen L_1, L_2, L_3 ... durch eine gleiche Anzahl Plattenkondensatoren C_1, C_2 ... vermittelt wird. Im Wagen führt also der Draht m gleich unmittelbar von dem Blechbelag Q_1, Q_2 zu den sekundären Windungen S einer Induktionsrolle J nach dem Telephon F und dann zu den Eisenteilen des Wagengestelles, d. h. zur Erde E. Ein vom Drahte m abzweigender Nebenschluss n nimmt seinen Weg durch den Kurbelumschalter U und kann also durch letzteren beliebig hergestellt oder unterbrochen werden. Die primären Windungen P bilden mit einer aus 5 oder 6 Bunsenelementen bestehenden Batterie B und einem Unterbrechungsrade R einen örtlichen Schliessungskreis, in dessen Nebenschlusse der Arbeitsstromtaster T liegt. Das Kontaktrad R wird, wenn telegraphiert werden soll, durch ein Federtriebwerk in gleichmässige Umdrehungen versetzt, wobei die Schleiffeder f abwechselnd einen leitenden oder nichtleitenden Radteil berührt, und sonach eine Folge von kurzen Strömen durch die primäre Rolle P gelangt, welche die sekundäre Rolle als eine entsprechende Folge von Wechselströmen in die Leitung m E

[1]) La Lumière électrique **19**, p. 161.

Digitized by Google

weitergibt. Während der Ruhelage befindet sich jedoch der Weg m E durch die Kurbel U in kurzem Schlusse. Soll vom Zuge aus telegraphiert werden, ist daselbst also vorerst das Rädchen R in Gang zu setzen; sodann wird U geöffnet, wodurch das Telephon F_1 in den Stationen zu „brummen“ beginnt. Die in S des Wagens entstehenden Wechselströme laden nämlich den Kupferbelag Q_1, Q_2 am Zuge, und diese Ladungen erzeugen in zweiter Reihe dementsprechende Ladungen in sämtlichen längs der Bahnlinie gezogenen Telegraphenleitungen, die sich in den Stationen wieder den Kondensatoren C_1, C_2 ... mitteilen und schliesslich, über U_1 nach F_1 gelangend, den Weg zur Erde E_1 nehmen. Wird unter diesen Verhältnissen der Taster T im Wagen niedergedrückt, so hört während der Dauer des Tasterschlusses die

Fig. 11.



stromunterbrechende Wirkung des Rades R und die sich daran knüpfende Ladungserscheinung auf; es schweigen sonach auch die Telephone der Stationen. Die kurzen oder langen Tasterschliessungen äussern sich demgemäss als ebenso kurze oder lange Brummpausen, die wie am Morseklopfer nach dem Gehör von F_1 abgelesen werden. Ganz die gleichen elektrischen Vorgänge wickeln sich im umgekehrten Wege ab, wenn die Depesche von einer Station abgeht und im Zuge empfangen wird. Sind in den Stationen noch andere Apparatsätze vorhanden, so müssen die zugehörigen Tastervorrichtungen, wenn sie bei der Gebrauchnahme Unterbrechungen des Schliessungskreises veranlassen, wie z. B. Morsetaster für Arbeits- oder für Ruhestromschaltung, durch Kondensatoren [1]) überbrückt werden, wie dies auf allen Leitungen

[1]) Vergl. Dr. E. Voit, Sammlung elektrotechn. Vorträge I. Heft 7 u. 8. p. 282.

Digitized by Google

geschieht, auf welchen gleichzeitig telephoniert und telegraphiert werden soll. Der erste praktische Versuch mit den vorgeschilderten Zugtelegraphen hat 1885 auf der Strecke Clifton-Tottenville mit einem daselbst täglich regelmässig verkehrenden, aus fünf Wagen bestehenden Personenzuge stattgefunden. Etwa ein Jahr später richtete die Consolidated Railway Telegraph Company in New York eine verwandte Anlage auf der Bahnstrecke Gersey City-Easton[1]) ein, doch waren daselbst anstatt der Plattenkondensatoren C_1, C_2, C_3 . . . (Fig. 11) je vier hintereinander geschaltete Spulenkondensatoren angewendet, und an Stelle des Unterbrechungsrädchens R befand sich ein Selbstunterbrecher (Neffscher Hammer), den eine eigene kleine Batterie 500 Schwingungen in der Minute machen liess. Der Taster T war so eingeschaltet, dass er bei niedergedrücktem Hebel den Selbstunterbrecher in den Stromkreis der aus 10 Fullerelementen bestehenden Batterie B brachte; demgemäss wurden vorliegenden Falles die Punkte und Striche vom Telephon F nicht als Pausen, sondern durch kurzes bezw. längeres „Brummen" dargestellt.

Eine ganz ähnliche Einrichtung wurde 1887 auch auf der Lehigh-Walley-Eisenbahn[2]) erprobt und gleich der früher erwähnten einer aus hervorragenden amerikanischen Fachmännern und Journalisten bestehenden Prüfungskommission im Betriebe vorgeführt. Die hiebei wahrgenommenen interessanten Erscheinungen und die mit Hilfe der Induktionsströme erzielten überraschenden Erfolge hatten selbstverständlich allgemein das grösste Aufsehen erregt.

Gleich nächsten Jahres brachte die obenbezeichnete New Yorker Eisenbahntelegraphengesellschaft ein neues, drittes System[3]) zum Versuche, das zwischen dem Phelpsschen und dem Edisonschen gleichsam die Mitte hält. Es wurde wieder zur Verwendung einer eigenen Streckenleitung zurückgekehrt, welche 2,5 bis 3 m vom Bahngleise ihren Platz erhielt und sich von gewöhnlichen Telegraphenleitungen lediglich dadurch unterschied, dass der 3 bis 4 mm starke Eisen- oder Stahldraht auf viel niedrigeren Säulen hing. Als Kondensatorplatte der Züge diente einfach das Blechdach des betreffenden Telegraphenwagens, oder wo eine metallene Decke nicht vorhanden, eine an der Seitenwand des Telegraphenwagens unter den seitlichen Vorsprüngen des Daches angebrachte, 1 cm starke Messingröhre oder Messingstange.

---

[1]) Vergl. Scientific Am. vom Oktober 1887, p. 240.

[2]) Vergl. Electrical World 1888, Nr. 16, p. 204.

[3]) Vergl. Zeitschrift für Elektrotechnik 1888, p. 146.

Digitized by Google

Im Wagen waren sämtliche Apparate mit Ausnahme der Batterie auf einem Brette befestigt, welches der Telegraphenbeamte während der Arbeit auf dem Schosse hielt. Der als Helmtelephon ausgeführte Empfangsapparat wurde ans Ohr gehängt, so dass beide Hände des Telegraphisten frei blieben. Als Betriebsbatterie des Zuges dienten 12 kleinere, in einem Kästchen verschlossene Zinkkohlenelemente. Der Widerstand der dickdrähtigen Wickelung (P, Fig. 11) betrug ungefähr 3,5 Ohm, jener der dünndrähtigen (S, Fig. 11) bis 250 Ohm und jener des Empfangtelephons F 1000 Ohm. Die Bahnhofseinrichtung unterschied sich von der Wageneinrichtung bloss insofern, als das eine Ende der dünndrähtigen Bewickelung des Induktoriums ersteren Orts nicht hinter F_1, sondern durch Vermittlung eines Morseapparatsatzes an Erde geführt war. Dieser Umstand ermöglichte es, auf der Streckenleitung des Zugtelegraphen nebst dem Betriebe mittels Telephonklopfern im Wechselverkehr der Stationen auch jenen mit Morseklopfern durchzuführen, und es lag überdem die Füglichkeit vor, beide Verständigungsmittel, wenn nötig, gleichzeitig in Anwendung zu bringen. Die zuletzt geschilderte jüngere Anordnung der Consolidated Railway Telegraph Company in New York war es auch, welche von dieser Gesellschaft den beim internationalen Eisenbahnkongress in St. Petersburg im Jahre 1892 anwesenden Fachmännern in einem Probezuge der Baltischen Eisenbahn im Betriebe vorgeführt worden ist.

Vor allem anderen fällt in den vorstehenden Anführungen die beträchtliche Zahl und ausserordentliche Mannigfaltigkeit der Einrichtungen und Entwürfe auf, welche sämtlich dahin zielen, den Eisenbahnzügen während der Fahrt den Empfang von Nachrichten zu ermöglichen, sei es im Wechselverkehr der Züge untereinander oder mit den Stationen, sei es in der Kombination beider dieser Verständigungswege. In der That geht denn auch der innerhalb des Gebietes der Zugtelegraphen von den Konstrukteuren dargelegte Eifer, welcher überdem, wie sich zeigte, schon seit den Kinderjahren der Eisenbahnen fast ohne wesentliche Unterbrechung bis auf die jüngste Zeit gleich rege geblieben ist, weit über die erreichten und erreichbaren Erfolge hinaus. Diese aussergewöhnliche Erscheinung lässt sich jedoch unschwer erklären. Schon die unmittelbare Nachrichtengebung auf Entfernungen, in denen eine Wahrnehmung durch die Sinne nicht mehr möglich ist, hat an sich

Digitized by Google

ihr Bestechendes, wie erst vorliegenden Falles, wo mit Hilfe derselben jedem einzelnen Eisenbahnzuge die Füglichkeit geboten werden sollte, fortlaufend über etwaige sich seiner Fahrt entgegenstellende Hindernisse Kenntnis zu erhalten oder ebenso seine eigene Gegenwart, sobald dieselbe für andere Züge eine Gefahr in sich schliesst, den letzteren auf eine genügende Entfernung kundzugeben. Würde ein solches Nachrichtensystem noch dahin erweitert, dass die Verständigung nicht bloss auf bestimmte, gleichbleibende Mitteilungen beschränkt zu werden braucht, sondern wie im gewöhnlichen telegraphischen Verkehr sich auf jeden beliebigen Inhalt erstrecken kann, dann wäre damit ein geradezu ideales Mittel zur Förderung und Erleichterung des Eisenbahnbetriebes im allgemeinen, sowie zur Sicherung der Eisenbahnzüge im besonderen gewonnen. Dieses glänzende Ziel ist es gewesen, das den Autoren vorschwebte, und welches trotz der sich in der Praxis entgegenstellenden Schwierigkeiten eine unerschöpfliche Quelle der Anregung zu immer neuen Versuchen bot. Im weiteren erklärt sich der Reichtum an Projekten auch noch dadurch, dass eine nennenswerte Zahl der Konstrukteure und Projektanten, ja, dass der grösste Teil derselben nicht eigentlich Fachmänner und daher mit den Hindernissen, welche sich der praktischen Ausführung von durchaus betriebssicheren Anlagen der obgedachten vollkommensten Zugtelegraphen entgegenstellen und die anscheinend unüberwindlich sind, keineswegs genügend vertraut waren. Diese Hindernisse, welche in der Schwierigkeit gipfeln, an dem fahrenden Zug eine wirklich zweckmässige und dauerhafte Stromzuführung zu stande zu bringen, reichten nun allerdings nicht hin, die Erfindungslust einzudämmen, dagegen boten sie ohne Frage den Anlass, das Programm der Zugtelegraphen bescheidener zu stellen, und daraus ergab sich eben ihre grosse Mannigfaltigkeit. Leider haben es aber selbst jene Einrichtungen, von welchen bloss eine verminderte Leistung geboten werden sollte, zu keinem durchschlagenden Erfolg gebracht, sondern lediglich das allereinfachste System, nämlich die als Vorsignal zu optischen Streckensignalen verwendete Lartiguesche elektrische Lokomotivpfeife[1]) (vergl. S. 462),

[1]) Aehnliche Zugtelegraphen wie der Lartiguesche, inbegriffen der selbstthätigen Bremsenauslösung von Delebecque und Bandarali (vergl. p. 466), sind auf einigen englischen Bahnen in Gebrauch und werden seit März 1898 auch auf den k. k. österreichischen Staatsbahnen (Direktionsbezirk Villach) versucht. In beiden diesen Fällen ist die Einrichtung jedoch keine elektrische, sondern lediglich eine mechanische. Mit dem Drahtzuge desjenigen Streckensignals, zu dessen Ergänzung das mit der Thätigmachung der Zugbremse verbundene Loko-

Digitized by Google

vermochte sich auf einer Eisenbahn, begünstigt durch die milden klimatischen Verhältnisse Frankreichs, so weit einzubürgern, dass es regulär und dauernd im Gebrauche steht; alle übrigen sind über das Probestadium gar nie hinausgekommen oder stehen noch im Versuche.

Diese Thatsache bildet einen vielsagenden Gegensatz zur anscheinenden Begehrenswertigkeit der Zugtelegraphen, von denen — wie man meinen sollte — mindestens jene zur Gruppe A gehörenden, für den Eisenbahnbetrieb so wichtigen Zugdeckungseinrichtungen gedeihen müssten, welche der kostspieligen, schwer durchführbaren Anordnung einer dauernden leitenden Verbindung zwischen Zug und Stromquelle aus dem Wege gehen und ihre Aufgabe bloss mit Hilfe kurzer Kontakte gerecht zu werden trachten. Dieselben sind doch für alle Fälle den gewöhnlichen, beispielsweise auf einigen amerikanischen Eisenbahnen im Gebrauche stehenden selbstthätigen Blocksignalen, bei welchen die Nachrichtengebung durch ständige optische Streckensignale geschieht, insoferne überlegen, als bei dem unmittelbaren Empfang von Signalen auf der Lokomotive nicht nur jene Fährlichkeiten (vergl. S. 456) wegfallen, die mit der Nachrichtenvermittlung durch eine Zwischenstelle unter Umständen verbunden sein können, sondern auch die Aufmerksamkeit der Maschinenführer ausschliesslich nur für solche Befehle und Meldungen in Anspruch genommen ist, welche wirklich dem betreffenden Zuge gelten. Wird aber in eine schärfere Prüfung eingegangen, dann offenbaren sich gar bald mancherlei gewichtige Schattenseiten, die es begreiflich machen, warum selbst die obgedachte Gattung von Zugtelegraphen im Eisenbahnbetriebe keinen Fuss zu fassen vermag. Ihr Entwurf erscheint an sich äusserst einfach, denn er braucht lediglich zwei Bedingungen Rechnung zu

---

motivpfeifensignal dienen soll, wird auf den englischen Bahnen (vergl. Dinglers Polytechn. Journal 1893, **287**, p. 162 und 1898, **310**, p. 154) im Gleise ein Daumen aufgestellt oder niedergelassen, an dem sich ersteren Falls eine mit der Dampfpfeife und dem Bremsventilhebel verbundene Auslösestange fängt, so dass sie in die Höhe geht und die gewünschte Auslösung vollführt. Bei der in Oesterreich versuchten Einrichtung geht eine ähnliche Auslösestange an der Lokomotive nach aufwärts und endigt oben in einem Knickhebel; 200 m vor dem optischen Signal ist die Bahn durch einen aus Gitterwerk hergestellten Bogen überbrückt, der eine wagerechte Führungsstange trägt, auf welcher das mit dem Drahtzuge des optischen Signals in Verbindung gebrachte Auslösestück hin und her gleitet. Steht das Hauptsignal auf Verbot der Fahrt, dann befindet sich das sonst zur Seite gerückte Auslösestück genau oberhalb des Gleismittels und bewirkt bei der Durchfahrt des Zuges das Knicken des Auslösehebelendes an der Lokomotive, was das Thätigwerden der Dampfpfeife und der Vakuumbremse zur Folge hat.

Digitized by Google

tragen, nämlich erstens, dass die Bahnstrecke in eine Anzahl Stücke geteilt sei, welche eine der örtlichen Verkehrsdichte angemessene Länge besitzen, und zweitens, dass in jeder derartigen Teilstrecke sich nie mehr als nur ein einziger Zug befinde, zu welchem Ende jeder Lokomotivführer, bevor er einen Bahnabschnitt verlässt, benachrichtigt werden muss, ob die zunächst kommende Strecke bereits oder noch durch einen Zug besetzt ist oder ob sie frei ist, wobei die zuerst angeführte Nachricht als Befehl gilt, den Zug anzuhalten, sowie die letztere als Erlaubnis, die Fahrt fortzusetzen. Da ergibt sich denn gleich eine recht einschneidende Misslichkeit: Wenn nämlich bei den durch optische Streckensignale vermittelten Zugdeckungs(-Block-)Anlagen ein Zug das Signal „Strecke besetzt“ vorfindet, kann er, beim Signal oder zunächst desselben anhaltend, das Eintreffen der Nachricht „Strecke frei“ abwarten und sodann seine Fahrt wieder in normaler Geschwindigkeit aufnehmen. Bei den in Betracht gezogenen Zugtelegraphen lässt sich dieser Vorgang keineswegs in gleicher Einfachheit abwickeln, denn hier kann die Stelle, wo ein Zug anhält, um nicht in eine „besetzte“ Strecke einzufahren, nie dieselbe sein, wo er die Nachricht „Strecke besetzt“ erhalten hat und wo der Zug also auch wieder in der Lage wäre, nach dem Freiwerden der Nachbarstrecke die Erlaubnis zur regelrechten Weiterfahrt zu empfangen. Um letzteres zu ermöglichen, müsste sich der Zug erst wieder zu der überfahrenen Signalstelle zurückbegeben und daselbst auf dem richtigen Empfangspunkte (Kontakt) Aufstellung nehmen, eine Massregel, auf deren Durchführung in praxi gar nicht gedacht werden könnte. Unter den zu Grunde gelegten Voraussetzungen bleibt vielmehr nichts übrig, als die Nachricht „Strecke besetzt“ ihres Charakters als absolutes Fahrverbot zu entkleiden und zu einem warnenden Signal abzuschwächen, indem es allen Zügen, welche infolge der bezeichneten Nachricht ihre Fahrt einstellen, gestattet wird, ohne eine Aufhebung des empfangenen Befehles abzuwarten — da ja ohnehin an dieser Stelle kein Freisignal erhältlich ist — die Fahrt langsam und mit Vorsicht fortzusetzen, bis entweder der vorausfahrende oder liegen gebliebene Zug erreicht wird oder bei der nächsten Blocksignalstelle die Nachricht „Strecke frei“ einläuft. Ist ein vorausgegangener Zug liegen geblieben, erscheint es sonach nicht ausgeschlossen, dass eine relativ unbeschränkte Zahl von hintereinander fahrenden Zügen in derselben Blockstrecke zusammentreffen, eine Durchführungsweise der räumlichen Zugdeckung, welche vom bahnbetriebstechnischen Standpunkte aus selbstverständlich für wesentlich

Digitized by Google

minderwertiger gilt, als die strenge, absolute Blockeinrichtung. Letztere ist jedoch nur bei jenen Zugtelegraphen aus der A-Gruppe ausführbar, welche im Sinne der De Castroschen Anordnung (vergl. S. 461) mit übergreifenden, fortlaufenden Stromzuleitungen versehen sind. Dieselbe Beschränkung besteht auch hinsichtlich der Verwendbarkeit auf eingleisigen Bahnen, wo lediglich die zuletzt benannten Systeme sich benützen lassen, während selbst für diese wenigen Ausnahmen noch der Uebelstand obwaltet, dass sich zwar sowohl die entgegenkommenden als vorgefahrenen oder nachfolgenden Züge, sobald sie auf eine bestimmte Entfernung nahe kommen, durch das Signal „Strecke besetzt“ ankündigen, dass jedoch zur näheren Unterscheidung dieser auch das Verhalten des signalempfangenden Zuges sehr ungleich bestimmenden Nachrichten erst wieder ausserordentlich verwickelte und weitläufige Nebeneinrichtungen erforderlich würden.

In Verfolgung der weiter oben erwähnten Schattenseiten kommt ferner zu erwägen, dass bei allen den Zugtelegraphen, bei welchen die Nachrichtengebung nicht durch Vermittlung eines kontinuierlichen, sondern nur eines kurz vorübergehenden Anschlusses zwischen Zug und Stromleitung, nämlich durch leitende Gleisstücke, durch kürzere oder längere Kontaktschienen, durch Radtaster, Schienendurchbiegekontakte oder dergl. geschieht, der Nachrichtenempfang natürlich auf der Lokomotive und zwar unmittelbar seitens des Maschinenführers zu erfolgen hat, sowie dass jene Kontaktgebungen, welche die zur Deckung des Zuges dienenden Signale „Strecke besetzt“ hervorrufen oder vorbereiten, von der Zugspitze bezw. vom ersten Räderpaar, jene Kontaktgebungen hingegen, welche die Signale „Strecke frei“ veranlassen, vom Zugende bezw. vom letzten Räderpaar bewirkt werden sollen. Gerade der letztangeführten Bedingung ist bei keinem der in Frage stehenden Systeme entsprochen, was als ein schwerer Mangel angesehen werden muss, der freilich fast allen verwandten elektrischen Eisenbahnsignalanlagen im gleichen Masse anhaftet. Erst neuester Zeit haben einzelne Konstrukteure [1]) in Erwägung der Möglichkeit

[1]) Die ersten praktischen Versuche, dieser Erkenntnis Rechnung zu tragen, sind in Deutschland und zwar auf den preussischen Staatsbahnen gemacht worden, allerdings zuvörderst nur für Sicherungen von Ein- und Ausfahrten auf Bahnhöfen. Eine nach den in Betracht zu ziehenden Grundsätzen ausgeführte, jedoch nicht elektrische, sondern rein mechanische Einrichtung für zwei Weichenstrassen ist auf dem Bahnhofe Grevenbroich bereits seit Mai 1891 mit günstigem Erfolge in Benützung. Am Ende der durch ein optisches Fahrsignal zu verschliessenden Fahrstrassen wird gleichzeitig mit der Verriegelung der zugehörigen

Digitized by Google

von Zugtrennungen die Vermittlung der lösenden Kontaktgebungen dem letzten Fahrzeug der Züge vorbehalten.

Weichen ein Arm, der sogenannte Schlussriegel, welcher für gewöhnlich nach abwärts gekehrt ist, senkrecht aufgestellt; derselbe muss durch einen am letzten Wagen der Züge angebrachten Arm, der sogenannten Schlussstange, erst in die ursprüngliche Lage wieder zurückgedrückt werden, ehe die Verriegelung der Weichen aufgehoben werden kann. Im gleichen Sinne sind 1892 von der Eisenbahnsignalbauanstalt M. Jüdel & Co. in Braunschweig Sicherungsanlagen entworfen und ausgeführt worden, mit welchen unter anderem auf dem Güterbahnhof Grunewald für die Einfahrt der von Wilmersdorf kommenden Züge befriedigende Versuche gemacht wurden. Auch diese Einrichtung beschränkt sich auf die Sicherung von Fahrstrassen: Ein neben dem Ein- oder Ausfahrtssignal ins Gleis eingelegter Radtaster (Streckenkontakt) wird durch die erste Achse jedes vorbeikommenden Zuges thätig gemacht. Der infolge dieses Tasterschlusses zum Stellwerk gelangende elektrische Strom legt daselbst den Riegel, welcher die bezügliche Weichenstrasse verschliesst, fest. Der Weichensteller kann also, sobald ein Zug mit seiner Spitze das für ihn freigegebene Fahrsignal passiert hat, die Lage der Weichen nicht mehr ändern, wohl aber ist es ihm währenddem ohne weiteres möglich, das Fahrsignal einzuziehen. Der elektrisch erzielte Verschluss der Weichenstrasse kann gleichfalls nur wieder auf elektrischem Wege aufgehoben werden, und zwar mit Hilfe einer besonderen Kontaktvorrichtung, welche am Ende der Fahrstrasse neben dem Gleise ihren Platz findet. Diese Vorrichtung besteht aus einer Säule, auf der ein drehbarer ungleicharmiger Hebel angebracht ist, dessen kürzerer Arm durch eine kräftige Spannfeder festgehalten und nach abwärts gezogen wird, wodurch der längere Arm — Schlussriegel genannt — dauernd in der aufrecht stehenden Lage erhalten bleibt. Die Drehachse des Hebels steht in geeigneter Weise mit einem Schleiffederkontakte oder einem Quecksilberkontakte derart in Verbindung, dass der Stromschluss erfolgt, sobald der Schlussriegel zur Seite gedrückt wird. Letzteres geschieht durch einen auf dem letzten Fahrzeuge (Packwagen) jedes Zuges in angemessener Höhe befestigten, seitlich abstehenden Arm — Zugschlussstange geheissen —, der bei der Vorbeifahrt des Zuges den Schlussriegel trifft und zur Seite kippt. Die Entsendung des Entriegelungsstromes ist überdem keineswegs dem besagten Schlussriegelkontakt allein überantwortet, da sich der Schlussriegel — sei es zufällig oder absichtlich — allenfalls mit der Hand aus der Ruhelage bringen liesse; es ist vielmehr zunächst des Schlussriegelständers noch ein gewöhnlicher Streckenkontakt eingelegt, der nur durch den fahrenden Zug in Thätigkeit gebracht werden kann und der gleichzeitig mit dem Schlussriegelkontakt in Schluss kommen muss, wenn die Entriegelung der Fahrstrasse im Stellwerk erfolgen soll. Die bei dieser Anlage zur Geltung gekommenen Grundsätze weiter verfolgend, hat königl. Regierungsbaumeister Feldmann in Köln a. R. einen Entwurf ausgearbeitet, welcher nicht nur die Sicherung der Fahrstrassen auf den Bahnhöfen berücksichtigt, sondern gleichzeitig auch die Sicherung der Strecke mit einbezieht. Das hiedurch entstehende Ganze erscheint allerdings vorzüglich geeignet, alle Unfälle, um deren Verhütung es sich handelt — Unfälle durch vorzeitiges Umstellen der Weichen oder vorzeitiges Freigeben einer Blockstrecke — schlechterdings unmöglich zu machen. (Vergl. Centralblatt der Bauverwaltung 1893, Nr. 3 A, p. 33.)

Digitized by Google

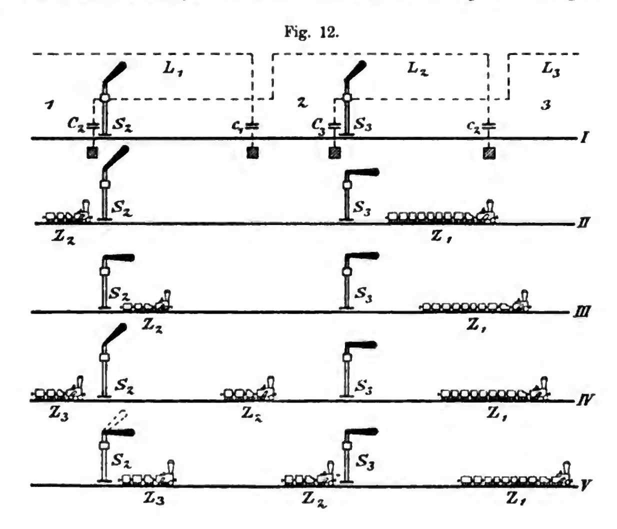
Welche Wichtigkeit diese Anordnung für die Sicherheitsgewähr der betreffenden Einrichtungen ist, darauf wurde schon früher einmal an anderer Stelle[1]) aufmerksam gemacht unter Zugrundelegung eines Vorfalles aus der Praxis, welcher sich am 4. Januar 1886 auf einer mit selbstthätigen elektrischen Blocksignalen versehen gewesenen schweizerischen Bahnstrecke ereignet hat. Der Verlauf dieses Vorfalles lässt sich an der Hand der Fig. 12 leicht verfolgen, wo in I die drei aneinanderstossenden Blockabschnitte 1, 2 und 3 nebst zwei zugehörigen Signalstellen S_2 und S_3, ferner die blockierenden, nämlich das Signal „Strecke besetzt" bewirkenden Kontakte C_2, C_3 ... und die deblockierenden, d. i. die das Signal „Strecke frei" veranlassenden Kontakte c_1, c_2 ... dargestellt erscheinen; es sind das die Hauptpunkte der Bahnstrecke, welche den übrigen Teilen II, III, IV und V der Abbildung zu Grunde liegt. Ausserdem sind in I die Telegraphenleitungen, welche zur Verbindung der Signale mit den Kontakten vorhanden sein müssen, durch gestrichelte Linien angedeutet. Der schwere Güterzug Z_1 mit 100 Achsen, den in der nächsten Station zwei nachfolgende schnellfahrende Personenzüge fahrplanmässig zu überholen haben, hat an seiner Fahrzeit wegen schadhaft gewordener Maschine bereits starke Einbusse erlitten und vermag auf der ansteigenden Strecke 3 nur ganz langsam vorwärts zu kommen. Als derselbe endlich mit dem ersten Räderpaar der Lokomotive den Kontakt c_1 erreicht und dadurch die bei S_2 bestandene Deckung des Blockabschnittes 2 aufhebt, ist auch schon der erste Folgezug Z_2 bei dieser Stelle angelangt (Fig. 12, II) und zufolge des Signals „Strecke frei" in die Strecke 2 eingefahren, wobei er dieselbe durch Bethätigung des Kontaktes C_2 wieder ordnungsgemäss blockiert. Inzwischen rückt Z_1 mühsam vorwärts, befindet sich aber zu dem Zeitpunkte, in welchem Z_2 den blockierenden Kontakt C_2 passiert, mit einem Teil seiner Wagen noch hinter dem deblockierenden Kontakt c_2; das von Z_2 bei S_2 bewirkte Signal „Strecke besetzt" (Fig. 12, III) wird daher durch jenes Räderpaar des Zuges Z_1, welches zunächst des eben in Betracht gezogenen Momentes der Signalumstellung auf den Kontakt c_2 gelangt, nochmals umgestellt, also wieder auf „Strecke frei" (Fig. 12, IV) zurückgebracht, während Z_2 auf seiner Weiterfahrt durch Vermittlung des Kontaktes c_1 auch den Blockabschnitt 1 freimacht und seinen Weg verfolgt, bis ihm das Signal S_3 Halt gebietet. Unterdessen ist auch

[1]) Vergl. L. Kohlfürst, Die Fortentwickelung der elektrischen Eisenbahneinrichtungen, Wien 1891, p. 201.

Digitized by Google

der zweite Folgezug Z_3 bei S_2 eingetroffen und findet hier das gefälschte Signal „Strecke frei“ vor; er fährt also gleichfalls mit normaler Geschwindigkeit in den Blockabschnitt 2, wo er nächst S_2 den ungedeckten Zug Z_2 einholt. Genau in dieser Weise hatte sich der obenerwähnte Vorfall auf der Bahnstrecke Aarburg-Olten abgewickelt, und wenn es dabei trotz der anscheinenden Unabwendbarkeit einer Katastrophe zu keinem Unfalle kam, lag dies lediglich

Fig. 12.



im Zusammentreffen günstiger örtlicher Umstände und insbesondere in der Umsicht und Geistesgegenwart des Personals der beiden gefährdeten Folgezüge.

Ob sich nun die selbstthätige Nachrichtengebung im Wege optischer Streckensignale oder unmittelbar auf der Lokomotive vollzieht, ob die hiebei massgebende Fernwirkung pneumatisch, hydraulisch oder elektrisch erfolgt, für alle Fälle bleibt die ungünstige gefährliche Sachlage aufrecht, wenn einerseits die Hervorrufung des blockierenden Signals seitens der Züge durch eine nur vorübergehende Verrichtung, wie z. B. die Bethätigung eines Pedals oder eines Kontaktes oder dergl.

Digitized by Google

geschieht, während andererseits die deblockierende Fernwirkung durch jedes einzelne Fahrzeug oder Räderpaar der Züge in gleicher Art veranlasst werden kann. Bei allen selbstthätigen Blocksignaleinrichtungen dieser Anordnung ist jeder Zug im stande, ausser der ersten regulären Deblockierung der rückliegenden Blockstrecke noch so viele weitere Umwandlungen des bezüglichen Signals von „Strecke besetzt“ in „Strecke frei“ hervorzurufen, als im Verlaufe jener Zeit, welche er braucht, um die betreffende Bethätigungsstelle (den Radtaster, Durchbiegekontakt oder dergl.) zu befahren, durch nachfolgende Züge die rückwärtige Nachbarstrecke blockiert wird. Diesem Uebelstande gegenüber können auch jene Vorrichtungen, welche mitunter an den Radtastern oder Streckenkontakten angebracht werden und diesen Apparat eine gewisse Zeit lang verhindern, nach einer erfolgten Gebrauchnahme neuerlich in Wirksamkeit zu treten, nur als unzureichendes Palliativ gelten, ebenso wie die Verlegung des zur selbstthätigen Deblockierung dienenden Apparates aus der nächsten in die zweitnächste Blockstrecke, denn durch diese Massnahmen wird allerdings die Möglichkeit von Signalfälschung der in Betracht gezogenen Art hinausgeschoben, d. h. vermindert, aber keineswegs vollkommen beseitigt. Letzteres ist übrigens, theoretisch wenigstens, selbst dann nicht erreicht, wenn im Sinne der weiter oben erwähnten Vorschläge die Thätigmachung der deblockierenden Vorrichtung lediglich dem Zugschlusse überantwortet wird, weil es nicht ausgeschlossen erscheint, dass ein Zug an kritischer Stelle zurückschieben muss, eine Eventualität, die praktisch allerdings so ferne liegt, dass sie die allem anderen überlegenen Vorzüge der „Zugschlussstange“ (vergl. Anmerkung auf S. 500) durchaus nicht zu beeinträchtigen vermag. Am besten liesse sich das erwogene Uebel bei den einschlägigen Zugtelegraphen der Gruppe A auf negativem Wege bekämpfen, indem nämlich die Einrichtung getroffen wird, dass das Verhältnis, welches die selbstthätige Blockierung des Blockabschnittes bewirkt, während des ganzen Aufenthaltes des daselbst befindlichen Zuges und an jeder Stelle des Abschnittes aufrecht erhalten bleibt und erst aufhört, bis der betreffende Zug mit seinem letzten Fahrzeug in die nächste Blockstrecke übergetreten ist. Zu dem Ende muss entweder jeder Zug, sowohl an seiner Spitze wie an seinem Ende, mit einer Vorrichtung zum Stromabnehmen versehen sein, welche beide innerhalb der ganzen Strecke mit der Stromleitung im fortlaufenden Kontakt bleiben, oder es müssen die Gleise bezw. die Schienenstränge der einzelnen Blockabschnitte selbst als Stromleiter in Verwendung kommen, wie es beispielsweise seitens

Digitized by Google

der Amerikaner Binnay[1]), Pope und Hendrickson[2]), William Robinson[3]), Otto Gassett[4]), Thomas S. Hall[5]), Westinghouse[6]) u. a. für gewöhnliche selbstthätige Blocksignaleinrichtungen geschehen ist. Im ersteren Sinne könnten z. B. die Zugtelegraphen von E. Vincenzi (S. 482) u. a. zurecht gerichtet werden; von letzterer Anordnung gibt es jedoch merkwürdigerweise keinen einzigen Zugtelegraphen, obwohl gerade durch die Heranziehung der Gleise als Stromleitungen derartige Anordnungen sich verhältnismässig weit einfacher ausführen liessen, als solche mit besonderen Kontaktleitungen. So oder so ist man aber auch hier wieder zu der Hauptschwierigkeit, nämlich zu der kontinuierlichen Verbindung des fahrenden Zuges mit der Stromzuleitung, zurückgelangt, der durch die kurzen Kontakte ausgewichen werden sollte.

Das Isolieren der Gleise oder die Errichtung von besonderen Stromleitungen erfordert verhältnismässig hohe Anschaffungskosten, und die Unterhaltung solcher Anlagen, inbegriffen der zugehörigen, auf den Strecken oder auf den Zügen zu verteilenden Stromquellen, ist ebenso umständlich als kostspielig. Diese Misslichkeiten, zusammen mit den weiter oben in Erwägung gezogenen Uebelständen, lassen für jene Zugtelegraphen, die als selbstthätige Streckenblockeinrichtungen für Dampfeisenbahnen dienen sollen, kaum eine nennenswerte Zukunft erhoffen. Ob und inwieweit die von Boult (vergl. S. 470) geplante Umgehung des kontinuierlichen Leitungsanschlusses zu einem günstigen Ergebnis führen wird, lässt sich noch nicht absehen, aber selbst im besten Falle wird auch dieses System die Anforderungen, welche man auf europäischen Bahnen an solche Sicherungseinrichtung stellt, nie genügen können. Vorläufig scheint einzig nur jene bereits mehrfach erwähnte einfachste Form, bei welcher die Nachricht auf der Lokomotive nichts anderes sein will als die Ergänzung, Unterstützung oder Verschärfung der gewöhnlichen Eisenbahnsignale, d. h. wo der Zugtelegraph lediglich die Rolle eines Ankündigungs- oder Vorsignals zu wichtigen

---

[1]) Vergl. Journal of the Society of Telegraph Engineer. London, **2**, p. 275.

[2]) Vergl. Zetzsches Handbuch der Telegraphie **4**, p. 626.

[3]) Vergl. The Railroad Gazette 1874, p. 127.

[4]) Vergl. The Railroad Gazette vom 26. März 1880.

[5]) Vergl. The Railroad Gazette 1879, p. 563, 577, 589; Dinglers Polytechn. Journal 1896, **299**, p. 190; Elektrotechn. Zeitschrift 1880, p. 385 und 420; 1891, p. 189; 1895, p. 754 und 1896, p. 330.

[6]) Vergl. Dinglers Polytechn. Journal 1893, **290**, p. 278; 1896, **300**, p. 181; Elektrotechn. Zeitschrift 1893, p. 725; 1896, p. 330.

Digitized by Google

Strecken- oder Stationssignalen versieht, Anwartschaft auf Verbreitung zu besitzen und auch zu verdienen, wenngleich es immerhin pessimistische Eisenbahnbetriebstechniker gibt, welche den Wert derartiger Anordnungen fragwürdig halten, weil hiedurch die Aufmerksamkeit des Maschinenpersonals für die optischen Signale herabgemindert würde und sonach beim Versagen des Lokomotivsignals bei sonst gleichen, ungünstigen Umständen die Nichtbeachtung oder die nicht rechtzeitige Beachtung eines Haltsignals eher möglich erschiene als sonst.

Ganz anders, nämlich ungleich günstiger, liegen die Verhältnisse hinsichtlich einer möglichen zukünftigen Verbreitung der als Blockeinrichtung wirkenden Zugtelegraphen bei den elektrischen Eisenbahnen, deren ganze Betriebsweise und Einrichtung von vornhinein alle wünschenswerten Erleichterungen für die Herstellung von kontinuierlichen Stromzuleitungen darbieten, also die billige, leichte und zweckdienliche Durchführung gerade jener Anordnung gewährleisten, welche die beste oder vielmehr die einzig gute ist. Es kann in der That nur eine Frage der Zeit sein, dass sich denjenigen elektrischen Eisenbahnen, auf welchen schnellfahrende Züge verkehren, sowie überhaupt allen elektrischen Bahnen, wenn sie über den Rahmen des gewöhnlichen Tramverkehrs hinauswachsen, ähnliche Sicherungseinrichtungen wie die Feldmannschen (S. 476) geradezu von selbst aufzwingen.

Um nun auch auf die Zugtelegraphen der Gruppe B einen prüfenden Blick zu werfen, erscheint zuvörderst bemerkenswert, dass sie betreffs ihres Endzweckes drei Unterabteilungen unterscheiden lassen, nämlich Einrichtungen, die bloss bestimmt sind, der Bequemlichkeit und den Bedürfnissen der Reisenden Rechnung zu tragen, dann solche, welche nebenbei oder ausschliesslich die Sicherung und Förderung des Zugverkehrs besorgen sollen, und schliesslich solche, deren Aufgabe es ist, mit Hilfe der freien Nachrichtengebung der Förderung des Zugverkehrs zu dienen und zugleich durch selbstthätige Signalgebung die Fahrt der Züge zu sichern. Davon lässt sich den beiden ersteren Anordnungsformen eine gewisse Wünschenswertigkeit hinsichtlich derjenigen Eisenbahnen nicht absprechen, wo die Stationen und Bahnwärterhäuser, wie es auf manchen aussereuropäischen Eisenbahnen vorkommt, sehr weit voneinander liegen und die Züge ziemlich selbständig, d. h. mehr unter der Leitung der Zugführer als der Stationsbeamten, verkehren. Hier liegt es ja auch, wenn man insbesondere Amerika ins Auge fasst, im berechtigten Bestreben

Digitized by Google

der verschiedenen Eisenbahngesellschaften, in ihren den Fernverkehr besorgenden Personenzügen den Reisenden neben Speise-, Rauch-, Lese- und Baderäumen eine Postamtsstelle und andere Annehmlichkeiten zu gewähren. Mehr aus dem diesfälligen Wettbewerbe als aus eisenbahntechnischen Gründen sind denn auch zu Beginn der achtziger Jahre die auf S. 491 besprochenen hochinteressanten Versuche hervorgegangen. Ganz Amerika war anfänglich von den Erfolgen Phelps und den sich sehr bald noch weiter daran knüpfenden überraschenden Entdeckungen enthusiasmiert, allein die Wohlmeinung der zunächst beteiligten Unternehmungen erfuhr sehr bald eine Herabminderung, als es sich zeigte, dass die entdeckten wunderbaren Induktionswirkungen mehr für die Wissenschaft Interesse bieten, als sie Eignung besitzen, der Praxis dienstbar gemacht zu werden. Die Verwertung der neben den Bahngleisen vorhandenen gewöhnlichen Telegraphenleitungen als zeichenübermittelnde Kondensatoren gelingt nur stellenweise unter günstigen Nebenumständen, da die ungleiche Lage und Entfernung des Leitungsgestänges vom fahrenden Zuge nicht ohne störende Rückwirkungen bleiben. Bald laufen die Leitungsdrähte am Fusse von Dämmen, bald auf den Kanten hoher Einschnitte, bald liegen zwischen ihnen und den Gleisen Gebäude, Brückenträger, oder die Leitung umgeht einen Tunnel, einen Bahnhof; kurz, zur Ermöglichung einer halbwegs gleichbleibenden, sicheren Betriebsfähigkeit des Zugtelegraphen erschiene es geboten, das längs der Bahn aufgestellte Leitungsgestänge fortlaufend in gleichbleibender Entfernung vom Gleise anzubringen. Das würde mit mancherlei Unzuträglichkeiten und nennenswerten Kosten verbunden sein, weshalb bei den jüngsten einschlägigen Systemen (vergl. S. 495) wieder zur Errichtung und Verwendung einer eigenen, bloss für den Zweck des Zugtelegraphen vorbehaltene Leitung zurückgegriffen worden ist. Aber selbst die verminderten Kosten für diese Leitung, welch letztere übrigens eine ständige Belästigung der Gleisunterhaltung bildet, vermehrt durch die Auslagen für die Zug- und Stationsapparate und die Kosten für einen Telegraphenbeamten bei jedem Zuge, erscheinen durch die für den Privatdepeschendienst erzielbaren Vorteile nicht gerechtfertigt. Dies gilt im allgemeinen in Amerika sowohl als in noch viel grösserem Masse in Europa, wo die Bahnstationen zumeist so dicht aneinander liegen und es den Reisenden fast überall möglich ist, die Aufgabe eines Telegrammes durchzuführen, allenfalls sogar in Stationen, wo der Zug nicht anhält, indem die Niederschrift unter Beilage der Gebühr in ein Couvert gebracht, zum Wagenfenster hinausgeworfen wird. Ganz anders stellt sich die Wert-

Digitized by Google

bemessung des Systems, wenn — was ja ursprünglich immer als die eigentliche Wesenheit der Zugtelegraphen gedacht war — der unbehinderte Nachrichtenwechsel entweder ausschliesslich oder doch hauptsächlich zur Sicherung des Zugverkehrs und auch sonst zur Förderung des Eisenbahnbetriebes ausgenützt wird. Allerdings bleibt für diese Anwendungsform gleichfalls manches zu bemängeln übrig, wie in erster Linie die naheliegende Möglichkeit, dass wegen Abwickelung einer vielleicht wenig dringenden Betriebsdepesche sich das Eintreffen oder Abgehen einer wirklich dringenden Nachricht unheilvoll verspäten kann. In dieser Beziehung sind die Anordnungen der Gruppe A, bei denen wohl nur ein einfaches Signal gegeben werden kann, das aber selbstthätig und im richtigen Augenblicke erfolgt, unverhältnismässig sicherer, geradeso wie den letzteren — ausgenommen bei elektrischen Eisenbahnen — eine richtig angeordnete, stabile Blocksignaleinrichtung als überlegen gelten darf. Es lässt sich ferner hinsichtlich der guten Dienste, welche die gedachten Zugtelegraphen immerhin in Vertretung von Strecken- und Hilfstelegraphen zu leisten geeignet erscheinen, nicht übersehen, dass auf dieselben in der Regel doch nur bei leichten Vorkommnissen, wie z. B. beim Liegenbleiben der Züge wegen Maschinengebrechen oder dergl., mit Sicherheit gerechnet werden dürfte; bei ernstlichen Unfällen jedoch und namentlich bei Entgleisungen müssten ganz besonders glückliche Zufälle auftreten, wenn die kontinuierliche Leitung oder die Telegrapheneinrichtung am Zuge unbeschädigt und dienstfähig bleiben soll. Also besitzen auch hierin stationäre Anlagen die bessere Eignung. Was endlich jene Einrichtungen aus der Gruppe B anbelangt, welche mit der freien, beliebigen Nachrichtengebung eine auf die Zugsicherung abzielende selbstthätige Signalgebung verbinden, so haften ihnen natürlich die gesamten Vorzüge und Mängel der beiden Gruppen A und B an, und je mehr sie zu leisten versprechen, desto weniger Vertrauen verdienen sie hinsichtlich der Verlässlichkeit; die meisten davon entsprechen überhaupt nicht einmal der ersten und wichtigsten Bedingung, welche vom eisenbahnbetriebstechnischen Standpunkte an derarte Sicherungssysteme zu stellen sind, nämlich dass ein Versagen der Vorrichtung höchstens nur eine Verzögerung, nie aber eine Gefährdung der Züge nach sich ziehen könne. Es darf nun wohl ohne Gefahr, ernsteren sachlichen Widersprüchen zu begegnen, mit dürren Worten herausgesagt werden, dass es bisher — die auf S. 497 angeführte Ausnahme abgerechnet — keinen Zugtelegraphen für Dampflokomotivbahnen gibt, durch welche die mit solchen Einrichtungen verbundenen Kosten und Schwierigkeiten

Digitized by Google

hereingebracht würden und für die mit Rücksicht auf ihre Eigenart und Leistung ein wirklicher Bedarf vorläge. Lediglich für den zu gewärtigenden erweiterten Zukunftsbetrieb elektrischer Eisenbahnen scheinen, wie schon mehrfach betont worden ist, Sicherungseinrichtungen nach Art der in Gruppe A angeführten Zugtelegraphen eine vorzügliche Eignung zu versprechen und Aussicht auf eine hervorragende Entwickelung zu haben.

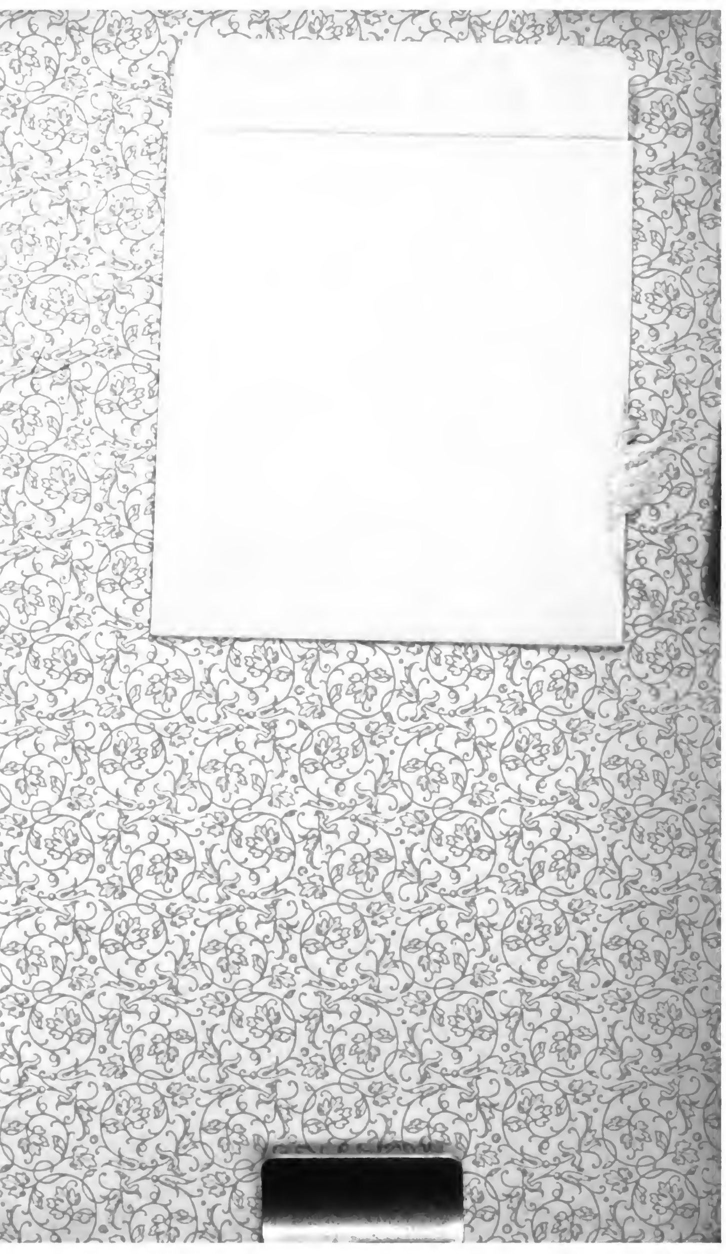
Im grossen Ganzen ist sonach das Ergebnis der vorstehenden Erwägungen für die Bewertung der elektrischen Zugtelegraphen eher ein negatives als positives, und es läge demnach die gewissermassen gerechtfertigte Frage nahe, warum denn erst alte und neuere Entwürfe zusammengetragen und kritisch untersucht worden seien, wenn sie für die Praxis nur beschränkte Brauchbarkeit besitzen. Darauf käme zu erwidern, dass ja abschreckende Beispiele gleichfalls eines unterrichtenden Wertes nicht entbehren, und dass es für die beteiligten Kreise immerhin einiges Interesse besitzt, an die Licht- und Schattenseiten von bereits Versuchtem oder bereits Ueberwundenem erinnert zu werden zu einer Zeit, in der Bahnunfälle zahlreicher als sonst vorgekommen sind und hinterher von Berufenen und Unberufenen immer wieder neue Abhilfen erdacht und empfohlen werden, über deren Wert oder Unwert sich wesentlich leichter und rascher ein Urteil gewinnen lässt, wenn man sie mit dem bereits Dagewesenen aus verwandten Gebieten in Vergleich ziehen kann.

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google



89089683676

b89089683676a

Digitized by Google